

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

Diplomski rad

PRIMJENA VIDEO ZAPISA U NASTAVI
FIZIKE: DEMONSTRACIJSKI POKUSI
IZ MEHANIKE

Lovre Kelam

Zagreb, 2014

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

Smjer: profesor fizike

Diplomski rad

**PRIMJENA VIDEO ZAPISA U NASTAVI FIZIKE:
DEMONSTRACIJSKI POKUSI
IZ MEHANIKE**

Lovre Kelam

Voditelj diplomskog rada: doc. dr. sc. Dalibor Paar

Ocjena diplomskog rada: _____

Povjerenstvo:

1. _____
2. _____
3. _____

Datum polaganja: _____

Zagreb, 2014

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. KONCEPTI IZ MEHANIKE	4
2.1. SILA	4
2.1.2. Centripetalna sila	4
2.1.3. Trenje	5
2.1.4. Elastična sila	5
2.2. NEWTONOVI ZAKONI	7
2.2.1. Prvi Newtonov zakon	7
2.2.2. Drugi Newtonov zakon	7
2.2.3. Treći Newtonov zakon	7
2.2.4. Newtonov opći zakon gravitacije	8
2.3. GIBANJA	8
2.3.1. Jednoliko gibanje	8
2.3.2. Jednoliko ubrzano gibanje bez početne brzine	9
2.3.4. Jednoliko ubrzano gibanje s početnom brzinom	10
2.3.5. Količina gibanja	10
2.3.6. Ubrzanje sile teže	11
2.3.7. Kružna gibanja	12
2.4. ENERGIJA	13
2.4.1. Kinetička energija	13
2.4.2. Potencijalna energija	13
2.4.3. Gravitacijska potencijalna energija	14
2.4.4. Zakon očuvanja energije	14
2.5. FLUIDI	15
2.5.1. Uzgon	15
2.5.2. Tlak	15

3. UVOD U POKUSE	17
3.1. O SILAMA.....	17
3.2. KAKO RADI ZRAČNA KLUPA.....	18
3.3. NEWTONOVI ZAKONI.....	24
3.3.1. Prvi Newtonov zakon	24
3.3.2. Drugi Newtonov zakon.....	26
3.3.3. Treći Newtonov zakon.....	30
4. GIBANJA.....	33
4.1. ELASTIČNI SUDARI I KOLIČINA GIBANJA.....	33
4.2. UBRZANJE SILE TEŽE	37
4.3. JEDNOLIKO KRUŽNO GIBANJE	40
4.4. SLOŽENA GIBANJA.....	44
5. SILE	48
5.1. Trenje.....	48
5.2. Elastična sila	51
6. ENERGIJA.....	54
6.1. Gravitacijska potencijalna u kinetičku energiju	54
6.2. Koloture i rad.....	59
7. FLUIDI.....	60
7.1. Uzgon.....	60
7.2. Hidraulični tijesak.....	66
8. ZAKLJUČAK	71
9. LITERATURA.....	72
10. SAŽETAK.....	73
11. SUMMARY	74

1. UVOD

Još 1949. godine, komisija Društva matematičara i fizičara Hrvatske preporučila je da se u školsku nastavu fizike uključi izvedba pokusa i rješavanje numeričkih zadataka. Rješavanje numeričkih zadataka se vrlo brzo uvriježilo u nastavnoj praksi, dok su pokusi uvedeni u znatno manjoj mjeri. Sva provedena istraživanja slažu se da su pokusi motivacija i polazište za razvijanje učeničkih ideja, omogućavaju testiranje učeničkih pretpostavki, direktno stjecanje iskustva i korigiranje zaključaka. Iz toga jasno proizlazi da bi pokusi trebali biti prisutni u svakodnevnoj nastavi sve u svrhu omogućavanja učenicima da sami iznose svoje pretpostavke, zapisuju ih, osmišljavaju pokuse, provode istraživanja, samostalno zaključuju što sve zajedno pridonosi lakšem i boljem razumijevanju fizike ali isto tako i razvijanju interesa za fiziku kao znanost.

Pokus ili eksperiment većina autora smatra temeljnom nastavnom metodom u fizici i općenito prirodoslovlju. Po formi, razlikuju se dva oblika pokusa u nastavi fizike: demonstracijski pokus i učenički pokus. Demonstracijski pokus izvodi nastavnik s ciljem utvrđivanja problema, potvrđivanja ili opovrgavanja postavljenih hipoteza ili sakupljanja relevantnih fizikalnih podataka. Demonstracijski pokusi nisu komplicirani jer je njihova svrha što jasnija demonstracija određene pojave, mogu se osmisliti iz gotovo svih područja fizike i riječ je jeftinim pokusima a kao prepreka može se pojaviti nedovoljna educiranost profesora za njihovo izvođenje. Učenički pokus izvode učenici samostalno a što se tiče ciljeva pokusa oni su jednaki ciljevima demonstracijskog pokusa.

U nastavnoj praksi osnovnih škola u Republici Hrvatskoj demonstracijski pokus još uvijek dominira kao nastavna metoda u odnosu na učenički pokus. Zbog toga je način prezentacije demonstracijskog pokusa korisno sagledati u kontekstu podjele na tradicionalnu i suvremenu nastavu, kako bi se razumjela njegova osnovna uloga u nastavi fizike, ali i u prirodoslovlju uopće. U filozofiji i metodici prirodnih znanosti kroz povijest sukcesivno se izmjenjuju četiri edukacijske paradigme. U okviru tih paradigmi nastava fizike i pokus unutar nje različito se interpretira. Racionalisti metode znanosti temelje na matematičkoj dedukciji, prema kojoj se iz umom spoznajnih najopćenitijih istina pomoću valjane metode izvode nužne posljedice, koje pokazuju što je zbilja, a što privid.

Prema toj paradigmi, u ljudskom duhu postoji skup privilegiranih ideja i metoda kojima se izvode ostale ideje. Znači, za racionaliste su pokus ili iskustvo suvišni.

Empiristička paradigma, pak, u središte stavlja iskustvo zasnovano na motrenju i pokusu. Empiristi koriste metodu indukcije prema kojoj se iz pojedinačnih opažanja okoline napreduje preko niza općenitih uopćavanja do najopćenitijih aksioma. Pritom iskustvo nije zapažanje podložno varkama osjetila, već je utemeljeno na sustavnom motrenju, uspoređivanju i provjeravanju.

Na osnovama metoda indukcije i dedukcije, indukcija u kontekstu motrenje i pokus, dedukcija pri kreiranju matematičkog formalizama, temelji se prirodoslovlje i edukacijska fizika 19. st. i prve polovice 20. stoljeća. U nastavnoj praksi, na razini elementarnog prirodoznanstvenog obrazovanja, to znači izvođenje demonstracijskih pokusa isključivo u svrhu promatranja i sakupljanja podataka, nakon čega u pravilu slijedi formalizacija znanja. Tada je učenik koji promatra pokus samo motritelj i primatelj znanja, koji nakon viđenog pokusa formalizira znanja. Takav pokus, kojemu je jedini cilj promatranje i zapažanje neke prirodne pojave, mnogi autori danas nazivaju tradicionalni demonstracijski pokus.

Na temeljima empirističke paradigme 80-ih godina 20. stoljeća projektom *Children's Learning in Science Project* oblikovana je suvremena paradigma u edukacijskoj fizici nazvana konstruktivizam. U kontekstu konstruktivizma, učenika se gleda kao aktivnog sudionika i interpretatora nastavnog procesa. U okviru tog pristupa, metodički i filozofski, bitno se mijenja uloga demonstracijskog pokusa. U konstruktivistički orijentiranom demonstracijskom pokusu učenik je uključen u sve "znanstvene" postupke pokusa; pojam "znanstveni" odnosi se na postupke koji rabe učenici, a koji su jednaki stvarnim znanstvenim postupcima, kao što su: promatranje, zapažanje, postavljanje hipoteze, kreiranje eksperimenta, sakupljanje podataka, analiza podataka, model rješenja i verifikacija modela. Tako metodički oblikovan pokus, u kojem se ne preskače niti jedna sastavnica istraživanja, kao ni učenička intelektualna aktivnost, ukazuje na bolje rezultate u konceptualnom razumijevanju fizikalnih pojmova i u prepoznavanju i ispravljanju tipičnih učeničkih pogrešnih shvaćanja.

Sastavni dio ovog diplomskog rada jesu dva DVD-a čiji sadržaj čine video zapisi dvanaest pokusa iz mehanike. Naime, na četvrtoj godini studija sa kolegom sam se odvažio na snimanje pokusa koje ću sam izvoditi. Iz svega gore navedenoga, možemo reći da se radi o učeničkim pokusima. Sama ideja o snimanju pokusa, koje sam u potpunosti sam osmislio, jest želja da se isti distribuiraju odnosno na najprikladniji, najjednostavniji i najpristupačniji način učine dostupnima kako učenicima općenito tako i učiteljima i profesorima kao sastavni dio nastave. Pokus fiziku učenicima čini zanimljivijom i motivira ih da postavljaju pitanja i traže odgovore. No, međutim, prema postojećoj nastavnoj koncepciji koja danas prevladava u školstvu, fizika je svedena na puki teorijski predmet sa matematičkim formulama i daleko je od onoga što bi učenici željeli da se radi na satovima fizike. Po mome mišljenju, to nisu samo puke želje učenika nego i potencijalni minimumi koji bi se trebali ispunjavati u izvođenju nastave.

Upravo vodeći se tom mišlju odvažio sam se i upustio u kreiranje i stvaranje ovakvih jednostavnih pokusa kojima je cilj učiniti fiziku zanimljivijom, lakšom i razumljivijom i nadam se da ću uspjeti učiniti ove reproduksijske materijale dostupnije što većem broju zaljubljenika u fiziku.

2. KONCEPTI IZ MEHANIKE

Fizika se po tradiciji dijeli na nekoliko područja koja su uzajamno povezana i među kojima nema oštih granica. U uobičajenoj podjeli prvo mjesto pripada mehanici, najstarijoj grani fizike. Mehanika proučava tijela u ravnoteži (statika), opisuje zakone gibanja tijela (kinematika) i djelovanje sila (dinamika).

Radovima velikih fizičara G. Galilea, I. Newtona i njihovih suvremenika, u 16. i 17. stoljeću razotkrivaju se zakoni mehanike i postavljaju temelji klasične fizike.

Budući da su sastavni dio ovoga rada video zapisi pokusa, u ovom poglavlju obraditi će se samo oni koncepti iz mehanike koji su prikazani pokusima.

2.1. SILA

U osnovnoj školi smo naučili da je sila (\vec{F}) fizikalna veličina pomoću koje opisujemo međudjelovanje dvaju ili više tijela. Znamo da se tijelo koje miruje može pokrenuti samo ako na njega drugo tijelo djeluje silom. Pri međudjelovanju tijela može doći do promjene stanja gibanja, oblika ili nekog drugog svojstva ili pak više svojstava odjednom. Kada sila izazove promjenu obujma ili oblika tijela (deformacija), kažemo da je njeno djelovanje statičko. To je lijepo uočljivo u pokusu u kojem se na oprugu objesi uteg a opruga se zatim umiri u novom uravnoteženom položaju. Kad sila izazove promjenu gibanja tijela kažemo da je djelovanje dinamičko. Dakle, sila tijelu daje ubrzanje (2. Newtonov zakon) ili izaziva deformaciju.

2.1.2. Centripetalna sila

Tijelo pod utjecajem stalne sile dobiva stalno ubrzanje u smjeru sile koje je proporcionalno iznosu sile a obrnuto proporcionalno masi tijela (translatorno gibanje opisano 2. Newtonovim zakonom). Želimo li da se tijelo giba jednoliko po kružnici na njega moramo djelovati centripetalnom silom koja daje centripetalno ubrzanje

$$\vec{a}_{cp} = \vec{F}_{cp} / m = - \hat{r} v^2 / r.$$

gdje je \hat{r} jedinični vektor od centra rotacije prema tijelu. Centripetalna sila je usmjerena prema centru rotacije, proporcionalna kvadratu brzine, a obrnuto proporcionalna radijusu putanje.

2.1.3. Trenje

Trenje je sila koja djeluje na tijelo kada ga nastojimo pokrenuti (statičko trenje) ili se ono već giba po podlozi (dinamičko trenje). Djeluje na tijelo u suprotnom smjeru od njegova pomicanja, odnosno njegove brzine. Uzroci trenja jesu dvojaki; prvi je elektromagnetsko međudjelovanje molekula tijela i podloge a drugi je hrapavost površine tijela i podloge jer pri gibanju neravnine podloge i tijela međusobno zapinju. Sila statičkog, odnosno dinamičkog trenja proporcionalna je sili pritiska tijela na podlogu (okomitoj sili). Konstante proporcionalnosti, koeficijenti trenja ovise o svojstvima tijela i podloge.

2.1.4. Elastična sila

Djelujući na tijelo, vanjske sile mogu izazvati njegovu deformaciju. Ako djelujemo vanjskom silom na tijelo tako da ga deformiramo, poremetiti ćemo ravnotežu sila među molekulama, pa će se resultantna sila među molekulama više ili manje suprotstavljati deformaciji. Tijelu se deformacijom (rastezanjem, stiskanjem, savijanjem...) mijenjaju dimenzije i obujam. Resultantnu silu među molekulama, koja se suprotstavlja vanjskoj sili deformacije vrijednošću je jednaka toj sili nazivamo elastičnom silom. Elastična sila je suprotnog smjera od vanjske sile koja izaziva deformaciju te nakon prestanka djelovanja vanjske sile potpuno ili djelomično vraća tijelo u početne dimenzije i oblik.

Tijela koja se nakon djelovanja vanjskih sila vrate u početno stanje jesu savršeno elastična, a ona koja ostanu deformirana jesu savršeno plastična ili neelastična. Stvarna tijela ponašaju se između tih dviju krajnosti, odnosno svako je tijelo do određene granice gotovo potpuno elastično, a preko te granice deformacija je kombinirana i sve više prevladava plastičnost.

Produljenje tijela pri rastezanju u elastičnom području proporcionalan je vanjskoj sili i duljini tijela, a obrnuto proporcionalan površini poprečnog presjeka tijela:

$$\Delta l \sim \frac{Fl}{S}.$$

Koeficijent razmjernosti matematički prikazujemo u obliku recipročne vrijednosti *Youngova modula elastičnosti*, E , konstante koja ovisi o vrsti materijala tijela, odnosno o elastičnim svojstvima tvari od koje je tijelo napravljeno.

Zakovitost linearne elastične deformacije tijela zovemo *Hookeovim zakonom* i pišemo u obliku:

$$\Delta l = \frac{1}{E} Fl/S \text{ ili } F/S = E \frac{\Delta l}{l}.$$

U području elastičnosti tijela, elastična sila je jednaka vrijednosti vanjske sile ali suprotnog smjera:

$$\vec{F}_{el} = -\vec{F},$$

odnosno iz Hookeovog zakona:

$$F_{el} = -\frac{ES}{l} \Delta l.$$

Za određeno tijelo podvrgnuto rastezanju vrijednost izraza $\frac{ES}{l}$ jest konstantna pa elastičnu silu stoga možemo zapisati:

$$F_{el} = -k\Delta l.$$

2.2. NEWTONOVI ZAKONI

2.2.1. Prvi Newtonov zakon

Kada je rezultanta sila koje djeluju na tijelo jednaka nuli, tada tijelo koje je mirovalo ostaje u stanju mirovanja, a tijelo koje se gibalo nastavlja se gibati jednoliko po pravcu.

Sile su u ravnoteži kada je rezultanta sila na tijelo jednaka nuli. Tada tijelo miruje ili se giba jednolikom brzinom. Želimo li djelovanjem vanjske sile promijeniti brzinu tijela (pokrenuti ga iz mirovanja, zaustaviti tijelo, usporiti ga ubrzati ili pak promijeniti smjer njegove brzine) tijelo će se tome opirati. Svojstvo tijela da se opire promjeni gibanja (brzine) nazivamo tromost, ustrajnost ili inercija. Masa tijela je fizikalna veličina, kvantitativna mjera tromosti, koja nam pokazuje u kojoj se mjeri tijelo opire promjeni brzine.

2.2.2. Drugi Newtonov zakon

Pod utjecajem stalne sile tijelo dobiva stalno ubrzanje u smjeru sile proporcionalno vektoru sile a obrnuto proporcionalno masi tijela.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

2.2.3. Treći Newtonov zakon

Ako prvo tijelo djeluje na drugo nekom silom \vec{F}_{12} , onda drugo tijelo djeluje na prvo silom \vec{F}_{21} jednakog iznosa ali suprotnog smjera, odnosno

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}.$$

Navedena zakonitost naziva se zakon sile i protusile, zakon akcije i reakcije ili treći Newtonov zakon.

2.2.4. Newtonov opći zakon gravitacije

Gravitacijska sila je jedna od osnovnih sila u prirodi i dio naše svakodnevnice; jabuka koja pada sa drveta giba se pod djelovanjem gravitacijske sile, kamen bačen u vis pada na Zemlju zbog gravitacijske sile. Ali gravitacija djeluje i na većim udaljenostima. Gravitacijskom silom se uzajamno privlače i tijela na Zemlji, predmeti, živa bića i najsitnije čestice oko nas.

Sredinom 17. stoljeća Isaac Newton je otkrio da između bilo kojih dviju čestica djeluje uzajamna privlačna sila, proporcionalna masama čestica m_1 i m_2 i obrnuto proporcionalna kvadratu njihove uzajamne udaljenosti r . Navedeno nazivamo Newtonovim ili općim zakonom gravitacije:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

2.3. GIBANJA

2.3.1. Jednoliko gibanje

Kada tijelo mijenja svoj položaj prema nekom drugom tijelu, kažemo da se ono relativno giba u odnosu prema njemu. Jednoliko pravocrtno gibanje jest gibanje brzinom stalnog iznosa i smjera. Brzina je u svakom trenutku jednaka srednjoj brzini (\bar{v}) odnosno kvocijentu intervala puta $s_2 - s_1$ i pripadnog intervala vremena $t_2 - t_1$:

$$\bar{v} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

odnosno

$$v = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} \text{ ili } v = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Počnemo li mjeriti vrijeme u trenutku t_1 , tada je $t_1 = 0$. Ako se u tom trenutku tijelo počelo gibati jednoliko, prijedeni je put do tog trenutka $s_1 = 0$. U takvom slučaju indeksi uz put i vrijeme nam nisu potrebni ($t_2 \rightarrow t$, $s_2 \rightarrow s$).

U skladu sa navedenim gornja jednadžba nam prelazi u:

$$v = \frac{s}{t} \Rightarrow s = vt.$$

2.3.2. Jednoliko ubrzano gibanje bez početne brzine

Jednoliko ubrzano gibanje je gibanje kod kojeg se brzina jednoliko povećava, tj. u jednakim vremenskim intervalima za jednake iznose. Kod jednolikog pravocrtnog gibanja akceleracija (a) je stalna (konstantna) i jednaka je srednjoj akceleraciji (\bar{a}) u bilo kojem vremenskom intervalu:

$$a = \bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = konst.$$

Uzmemo li da je $t_1 = 0$, tada je i $v_1 = 0$ pa umjesto t_2 i v_2 možemo pisati samo t i v pa gore navedeni izraz prelazi u sljedeći:

$$a = v/t.$$

Kada je riječ o jednoliko ubrzanom gibanju bez početne brzine, akceleraciju možemo dobiti tako da brzinu v podijelimo sa vremenom t za koje je ta brzina postignuta.

2.3.4. Jednoliko ubrzano gibanje s početnom brzinom

Uz pretpostavku da tijelo u početnom trenutku $t_0 = 0$ ima početnu brzinu v_0 , izraz za ubrzanje će glasiti:

$$a = \frac{v-v_0}{t-t_0} = \frac{v-v_0}{t}.$$

Iz navedenog slijedi:

$$v = v_0 + at .$$

2.3.5. Količina gibanja

Iskustvo nam govori da za zaustavljanje tijela u određenom vremenu treba upotrijebiti to veću silu što su masa i brzina tijela veće. Masa i brzina su dva glavna obilježja gibanja tijela jer o njima ovisi djelovanje tijela pri sudaru sa drugim tijelom. Iz tih se razloga uvela fizikalna veličina količina gibanja koja udružuje masu i brzinu tijela:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Količina gibanja je vektorska veličina i ima smjer brzine. Njezina jedinica je umnožak jedinice za masu i brzinu odnosno kg m/s.

Da bi se tijelu povećala ili smanjila količina gibanja ili promijenio njezin smjer, potrebno je djelovanje silom. Dugotrajno djelovanje malom silom na tijelo može izazvati iste posljedice kao i kratkotrajno djelovanje velikom silom. Upravo stoga uvedena je fizikalna veličina definirana kao umnožak sile i vremena njena djelovanja na tijelu a koju nazivamo impuls sile:

$$\vec{I} = \vec{F} \Delta t .$$

Impulsom sile mijenjamo količinu gibanja. Predočimo sada drugi Newtonov zakon u obliku koji će pokazati navedeno.

Najprije uvrstimo izraz za ubrzanje u drugi Newtonov zakon:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

i dobivamo slijedeće

$$\vec{F} = \frac{m\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Umnožak $m\Delta \vec{v}$ jest promjena količine gibanja $\Delta \vec{p}$.

Drugi Newtonov zakon sada možemo napisati u onom obliku u kojem ga je i sam Newton prvobitno izrazio:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}.$$

Promjena količine gibanja tijela u vremenu razmjerna je rezultatnoj sili koja to ostvaruje. U tom obliku drugi Newtonov zakon možemo primijeniti za sve brzine tijela. Ako tu jednadžbu riješimo po količini gibanja Δp , dobiti ćemo:

$$\Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t \text{ ili } m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{F} \Delta t.$$

Promjena količine gibanja tijela razmjerna je impulsu sile koji ga stvara. Količina gibanja i impuls sile imaju iste jedinice: kg m/s ili Ns.

2.3.6. Ubrzanje sile teže

Slobodan pad je jednoliko ubrzano gibanje bez početne brzine pri kojemu sva tijela imaju isto ubrzanje uz uvjet da nema otpora sredstva. Do tog zaključka je došao Galileo Galilei proučavajući slobodan pad tijela (prema legendi s kosog tornja u Pisi) iako tada (prije više od četiri stoljeća) nije bilo moguće napraviti pokus padanja tijela u vakuumu.

Ubrzanje slobodnog pada tijela g je posljedica gravitacijskog privlačenja Zemlje i tijela. Vrijednost i smjer ubrzanja sile teže ovisi o na Zemlji zbog varijacija gustoće mase unutar

Zemlje, sferoidnog oblika zbog centrifugalnog ubrzanja, kretanja oceana, zračnih struja i dr.. Tako je njezina vrijednost najveća na području Arktičkog oceana $9,83 \text{ m/s}^2$ dok je najmanja na području Anda u Peruu $9,73 \text{ m/s}^2$. Na određenoj poziciji pretpostavljamo da je ubrzanje sile teže konstantno, pa tada vrijede relacije za brzinu i pomak kod jednoliko ubranog gibanja. Ako je os y usmjerena okomito na površinu Zemlje, te relacije glase

$$v_y = -gt$$

$$y = y_0 - \frac{1}{2}gt^2$$

2.3.7. Kružna gibanja

Opis kružnoga gibanja važan je zbog učestalosti gibanja po zakrivljenim stazama koje se nalaze svuda oko nas. Svaki dovoljno malen dio neke krivocrtna staze možemo shvatiti kao dio kružnice. Upravo se zbog toga opis kružnog gibanja može primijeniti na ostala krivocrtna gibanja, kao što je na primjer gibanje planeta.

Proučavajući periodička kružna gibanja pri kojima tijelo uzastopno obilazi kružnicu za isto vrijeme uvodimo za to potrebne veličine. Vrijeme jednog obilaska kružnice zovemo *period* i označavamo sa T . Broj obilazaka kružne staze u sekundi zovemo *frekvencijom*, f .

Period i frekvencija su obrnuto proporcionalne veličine a njihov odnos prikazujemo sljedećom relacijom:

$$f = \frac{1}{T}.$$

Jedinica za frekvenciju jest herc, znak Hz.

2.4. ENERGIJA

Energija je sposobnost tijela da obavlja rad. Oblici energije jesu mehanička energija (kinetička i potencijalna), električna, toplinska, nuklearna, kemijska, itd. Svi navedeni oblici energije se, u osnovi, mogu svesti na kinetičku i potencijalnu.

2.4.1. Kinetička energija

Kinetička energija u klasičnoj mehanici funkcija je brzine

$$E_k = m\vec{v}^2/2 .$$

Teorem rada i energije kaže da rad vanjske sile rezultira promjenom kinetičke energije tijela

$$W = E_{k1} - E_{k2} = \Delta E_k .$$

2.4.2. Potencijalna energija

Potencijalna energija se može shvatiti kao energija pohranjena u sustavu, a koja se može transformirati u kinetičku energiju ili izvršiti određeni rad.

Pri gibanju na nekom putu (za primjer put između točaka A i B), potencijalna energija se smanji za onoliko koliko je iznosio obavljeni rad:

$$E_{p,B} = E_{p,A} - W_{AB} ,$$

odnosno za rad na putu između tih dviju točaka vrijedi:

$$W_{AB} = E_{p,A} - E_{p,B} .$$

2.4.3. Gravitacijska potencijalna energija

Potencijalnu energiju za česticu na visini h iznad površine Zemlje, na koju djeluje sila teža, uz izbor da je površini Zemlje $h = 0$ je

$$E_{p,g} = mgh .$$

2.4.4. Zakon očuvanja energije

Jedan od temeljnih fizikalnih zakona jest *zakon očuvanja energije*. Energija se ne može stvoriti ni iz čega, nema procesa u kojemu bismo dobili više energije no što smo je uložili. Pri pomaku iz točke A u točku B, rad gravitacijske i elastične energije jednak je razlici potencijalnih energija:

$$W_{AB} = E_{p,A} - E_{p,B} .$$

Kako je obavljeni rad ujedno jednak razlici kinetičkih energija:

$$W_{AB} = E_{k,B} - E_{k,A} ,$$

dobivamo

$$E_{k,A} + E_{p,B} = E_{k,B} + E_{p,A} .$$

Za česticu koja se giba pod djelovanjem konzervativnih sila zbroj kinetičke i potencijalne energije E je uvijek isti bez obzira na to u kojoj točki njezine staze to promatrali:

$$E_k + E_p = E = \text{konst.}$$

Tijekom gibanja čestice, kinetička i razne vrste potencijalne energije (gravitacijska, elastična i ostale) mogu se mijenjati i prelaziti jedna u drugu ali samo tako da ukupna energija ostane očuvana.

2.5. FLUIDI

Većina tvari koje nas okružuju pojavljuju se u određenom agregatnom stanju. Stanja specifična za klasičnu fiziku su čvrsto, tekuće i plinovito. Razlike između agregatnih stanja tvari nisu uvijek oštre a promatrajući njihova svojstva zaključujemo da plinovi i tekućine imaju mnogo zajedničkoga. I upravo ih stoga zajedničkim imenom nazivamo *fluidima*, tvarima koje teku. Fluidi mijenjaju oblik prema obliku posude u kojoj se nalaze.

Atomi od kojih se fluid sastoji lako se relativno pomiču, za razliku od čvrstih tijela gdje se nalaze u definiranim kristalnim ili drugim strukturama.

2.5.1. Uzgon

Kada neko tijelo uronimo u fluid, na njega sukladno Arhimedovom zakonu uz težinu djeluje uzgon. Sila uzgon nastaje zbog razlike hidrostatskih tlakova koji djeluju na dijelove tijela na različitim dubinama tijelo u raznim dubinama, a proporcionalna je gustoći fluida i volumenu tijela (težina istisnutog fluida)

$$F_u = \rho_f g V .$$

2.5.2. Tlak

Tlak p na plohu površine S je omjer sile F koja djeluje okomito na tu plohu i S :

$$p = F/S \text{ [Pa]}.$$

Hidrostatski tlak djeluje na tijelo uronjeno u fluid na dubini h u odnosu na površinu gdje je tlak p_0

$$p = p_0 + \rho_f g h .$$

Prije drugog dijela ovog diplomskog rada, dijela sa pokusima, ovdje ćemo nakratko zastati i ponoviti sve što smo dosada rekli o mehanici i taksativno navesti ranije obrazložene temeljne zakone mehanike.

Mehanika je prirodna znanost koja se temelji na opažanju, iskustvu i eksperimentu a proučava gibanja materijalnih tijela. Gibanje je najopćenitiji oblik postojanja materije.

Temeljni zakoni mehanike jesu:

1. Zakon inercije (*Prvi Newtonov zakon*):

Kada je rezultanta sila koje djeluju na tijelo jednaka nuli, tada tijelo koje je mirovalo ostaje u stanju mirovanja, a tijelo koje se gibalo nastavlja se gibati jednoliko po pravcu.

2. Temeljni zakon gibanja (*Drugi Newtonov zakon*):

Pod utjecajem stalne sile tijelo dobiva stalno ubrzanje u smjeru sile proporcionalno vektoru sile a obrnuto proporcionalno masi tijela.

3. Zakon akcije i reakcije (*Treći Newtonov zakon*):

Ako prvo tijelo djeluje na drugo nekom silom \vec{F}_{12} , onda drugo tijelo djeluje na prvo silom F_{21} jednakog iznosa ali suprotnog smjera, odnosno $\vec{F}_{12} = - \vec{F}_{21}$.

4. Zakon privlačenja masa

Kada se tijela masa m_1 i m_2 mogu zamijeniti materijalnim točkama, tada je sila privlačenja među njima proporcionalna produktu masa i obrnuto proporcionalna kvadratu njihove udaljenosti.

3. UVOD U POKUSE

Kao što je već ranije navedeno, centralni dio ovog diplomskog rada su videozapisi demonstracijskih pokusa. Pokusi su snimani tijekom dvije akademske godine 2009/2010 i 2010/2011 u praktikumu iz eksperimentalne nastave fizike na Fizičkom odsjeku PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, na temelju odobrenja prof. Planinke Pećina. Zbog izbjegavanja buke, pokusi su snimani tijekom noći uz posebno odobrenje prof. Antonije Dulčić. Pokusi su rezultat entuzijazma dvojice studenata fizike koji su, zaljubljeni u istraživanje, odlučili pokusima približiti fiziku učenicima i studentima ali i svima ostalima koji žele bolje razumjeti fiziku koja se nalazi svuda oko nas.

Pokuse je snimao i radio animacije Bruno Dimić dok je Lovre Kelam izvodio pokuse i napravio montažu.

3.1. O SILAMA

I. pokus

DVD I

Trajanje pokusa: 5 minuta i 36 sekundi

Izvedenim pokusima želi se auditorij upoznati sa osnovama sile; što je sila, kako sila djeluje i na koji način se mjeri.

Sila je fizikalna veličina kojom opisujemo međudjelovanja tijela.

Pokusi kojima su prikazana međudjelovanja tijela kada su u kontaktu jesu stiskanje i rastezanje opruge (statična elastična deformacija) i guranje kolica (dinamičko djelovanje). Djelovanje sile na daljinu prikazano je guranjem odnosno povlačenjem magneta bez kontakta. Nadovezujući se na magnetsku silu, prikazana je i objašnjena gravitacijska sila kojom Zemlja privlači tijela na daljinu odnosno sila teža. Prikaz djelovanja sile teže izvršen je prikazom vješanja utega različitih masa na instrument kojim mjerimo silu - dinamometar.



Izvršenim pokusom smo vidjeli da dinamometar pokazuje veću silu što je veća masa tijela. Pokazano je da se promjenom smjera djelovanja sile preko kolature ne mijenja njen iznos.

Pitanja za učenike

1. Što je sila?
2. Što je dinamometar?

3.2. KAKO RADI ZRAČNA KLUPA

II. pokus

DVD I

Trajanje pokusa: 9 minuta i 30 sekundi

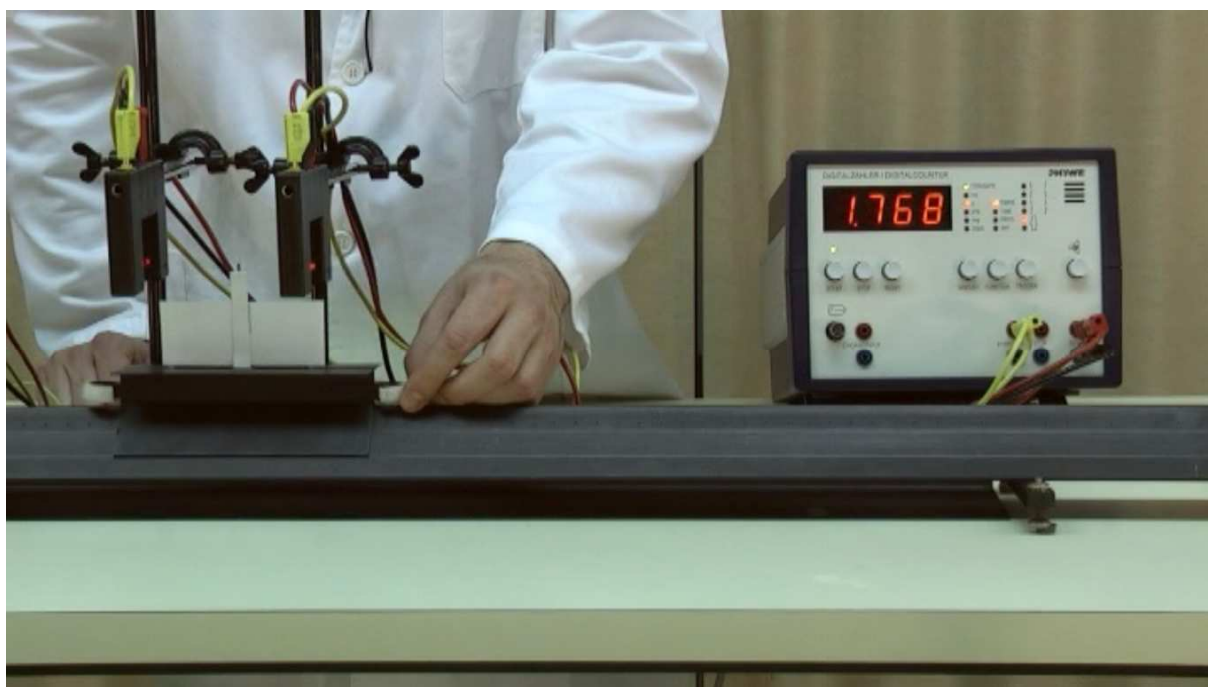
Iza ovog naslova krije se grupa pokusa kojima se uz pomoć zračne klupe, klizača i svjetlosnih vrata prikazuje gibanje tijela i izračun njegove brzine kada na isto ne djeluje sila trenja. Zračna klupa je uređaj pomoću kojeg se eliminira trenje između tijela i podloge upuhivanjem zraka u metalnu klupu na kojoj se nalaze rupice kroz koje taj zrak izlazi. Uz pomoć laganog metalnog klizača, koji lebdi na struji zraka, eliminirano je djelovanje sile trenja između tijela i podloge.

Precizno mjerenje brzine klizača vrši se pomoću svjetlosnih vrata. Polazna točka mjerenja brzine klizača jest njegov prolazak kroz prva svjetlosna vrata kada on prekine snop svjetlosti i pokrene mjerač vremena (timer) dok je završna točka mjerenja prolazak klizača kroz druga svjetlosna vrata, ponovno prekidanje snopa svjetlosti te zaustavljanje mjerača vremena.



Pokusima smo pokazali proučavali gibanje klizača.

Prolaskom klizača kroz navedena svjetlosna vrata dobivamo vrijeme potrebno klizaču da prijeđe navedeni put, te možemo izračunati brzinu. Pokuse smo izvodili sa klizačem na kojem se nalazi kartončić širine jednake udaljenosti između dvaju svjetlosnih vrata kako bi dokazali da ćemo uz poznatu širinu kartončića i stalnu brzinu klizača dobiti jednako vrijeme prolaskom klizača kroz dvojna svjetlosna vrata i jedna svjetlosna vrata. Izvedenim pokusima vršeno je mjerenje pomoću dvojih svjetlosnih vrata prosječne brzine klizača pa se grafičkim prikazom iznio problem nejednolikog gibanja tijela, odnosno mijenjanja brzine sa vremenom.



Postavljajući svjetlosna vrata na dijelu puta gdje dolazi do ubrzanja kuglice, izmjerena brzina je veća od stvarne brzine u tom trenutku. Kako bi se maksimalno smanjila ta pogreška, potrebno je smanjiti vremenski interval između vremena odnosno smanjiti udaljenost između svjetlosnih vrata i zato smo pristupili izvođenju pokusa metodom mjerenja sa jednim svjetlosnim vratima i kartončićem poznate širine te umjesto smanjivanja udaljenosti između svjetlosnih vrata, smanjivana je širina kartončića. No kako se širina kartončića ne može beskonačno smanjivati, nemoguće je odrediti prosječnu brzinu već samo brzinu do određene točnosti. Pokusima je dokazano da je to slučaj neovisno o metodi određivanja brzine.

Pitanja za učenike

- 1. Objasni gibanje tijela na zračnoj klupi.*

3.2.1. Ubrzanje na zračnoj klupi

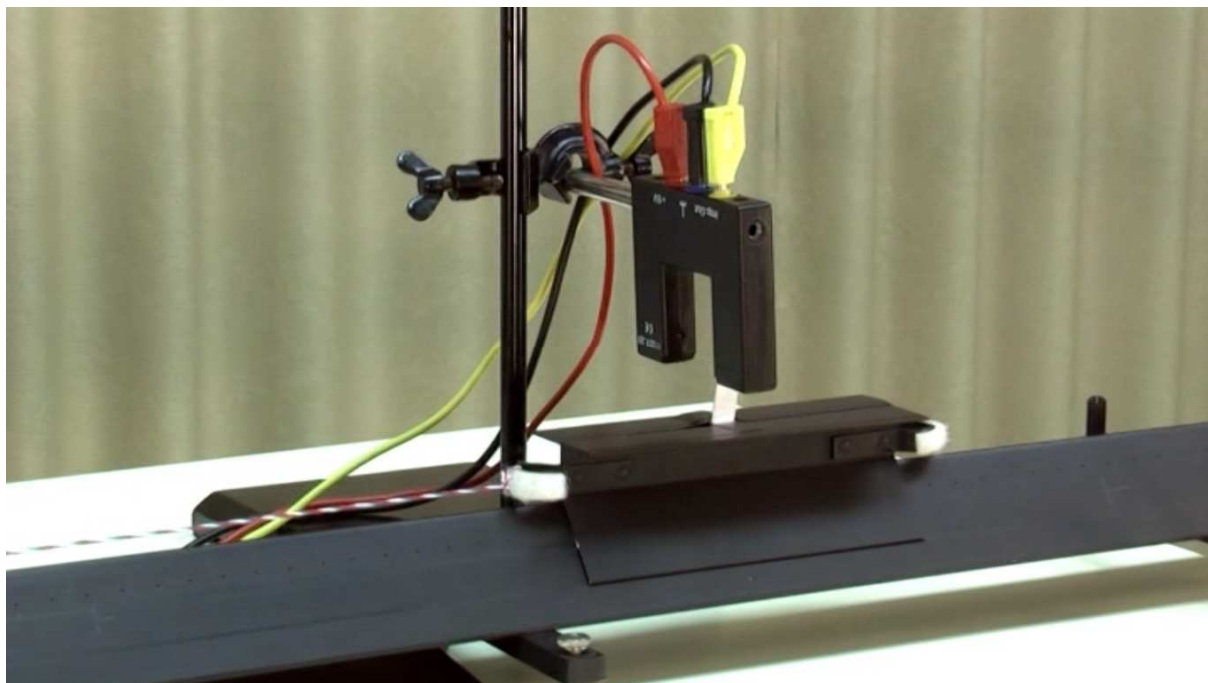
III. pokus

DVD I


Trajanje pokusa: 11 minuta i 42 sekunde

Za potrebe ove skupine pokusa, kojima se prikazuje gibanje klizača pod djelovanjem stalne sile, koristili smo uteg koji je preko koloture spojen na klizač. Utreg, koji smo preko kolotura preusmjerili da vuče klizač u horizontalnom smjeru, djeluje na isti stalnom silom. Utvrdivši da klizač prilikom gibanja pod stalnom silom po zračnoj klupi ubrzava, postavili smo za zadatak dobivanje odgovora na pitanje da li je takvo gibanje klizača jednoliko ubrzano.

Odgovor smo dobili pomoću pokusa provjerom da li je prosječno ubrzanje jednako na proizvoljno odabranim dijelovima zračne klupe.



Prvim pokusom pristupili smo, uz pomoć svjetlosnih vrata i kartončića širine jedan centimetar, određivanju prosječnog ubrzanja na intervalu puta.



	1	2
Δv	$1,9 \frac{m}{s}$	$1,5 \frac{m}{s}$
$\Delta t_{klizač}$	$1,1 s$	$0,89 s$
a	$1,7 \frac{m}{s^2}$	$1,7 \frac{m}{s^2}$

$$a = \frac{v_{kon}}{\Delta t_{klizač}}$$

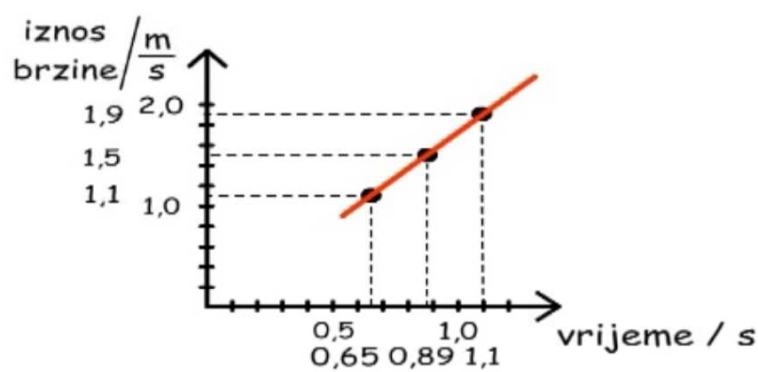
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t_{karton}}$$

Kako bismo odredili prosječno ubrzanje na odabranom intervalu puta, u drugom smo pokusu druga, “završna“ svjetlosna vrata postavili na odabran položaj na zračnoj klupi. I u drugom pokusu klizač kreće iz stanja mirovanja (početna brzina je jednaka nuli).

Slijedom navedenog, određivali smo konačnu brzinu klizača i vrijeme potrebno da klizač postigne tu brzinu.

Pomicanje prvih svjetlosnih vrata prema sredini klupe sa istovremenim ostavljanjem drugih svjetlosnih vrata na istom mjestu gdje su bila postavljena u prethodnom pokusu, dakle određivanje prosječnog ubrzanja u intervalu u kome je početna brzina različita od nule obilježje je trećeg pokusa.

Opisana skupina pokusa i usporedba rezultata istih dala nam je odgovor – ubrzanje je stalno, odnosno gibanje je jednoliko ubrzano ako na njega djeluje stalna sila – zaključak je prikazan v/t grafom, koristeći se rezultatima pokusa.



Δv	$1,9 \frac{m}{s}$	$1,5 \frac{m}{s}$	$0,4 \frac{m}{s}$
$\Delta t_{klizač}$	$1,1 s$	$0,89 s$	$0,24 s$
a	$1,7 \frac{m}{s^2}$	$1,7 \frac{m}{s^2}$	$1,7 \frac{m}{s^2}$

Pitanja za učenike

1. Što je ubrzanje?
2. Objasni v/t graf.

3.3. NEWTONOVI ZAKONI

Objašnjavanje Newtonovih zakona podijeljeno je na tri pokusa, odnosno svaki od tri zakona je objašnjen jednim pokusom.

3.3.1. Prvi Newtonov zakon

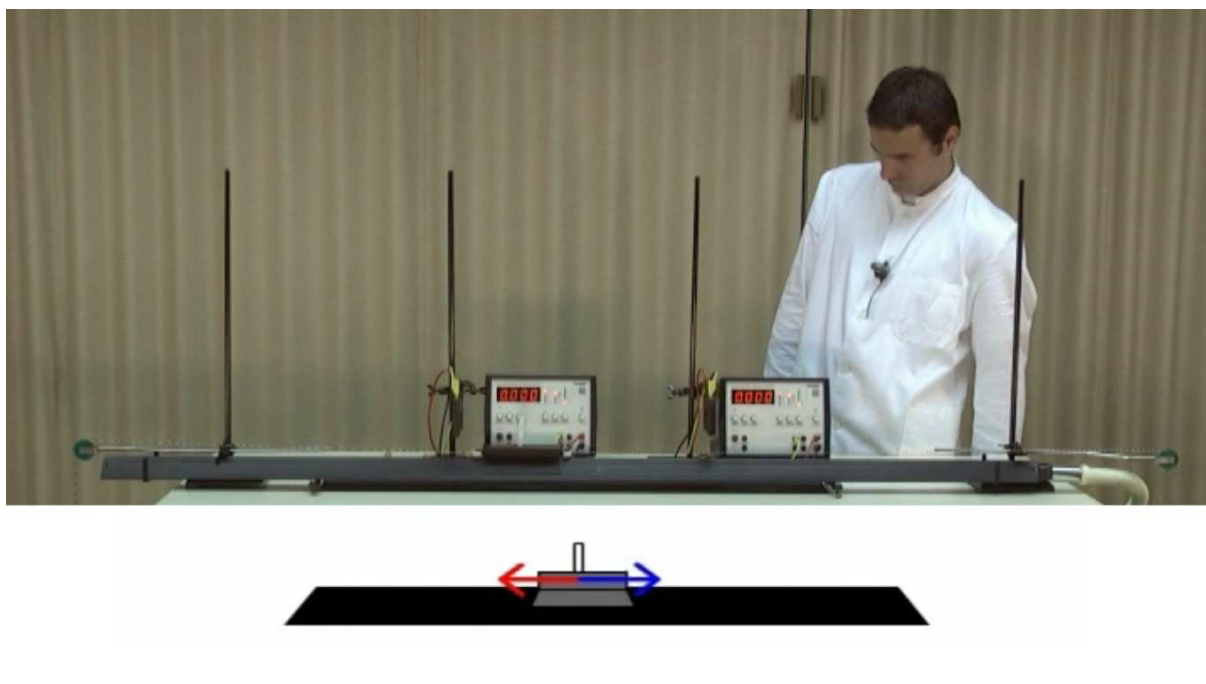
IV. pokus

DVD I

Trajanje pokusa: 5 minuta i 3 sekunde

Kada na tijelo u mirovanju djelujemo dvjema silama jednakih iznosa ali suprotnih smjerova tada je suma sila nula i tijelo ostaje u mirovanju.

Kako bismo navedeni zakon objasnili pokusom koristili smo se klizačem koji se nalazi na zračnoj klupi a koji je sa svake strane preko kolotura povezan sa utezima težine 0,5 N.



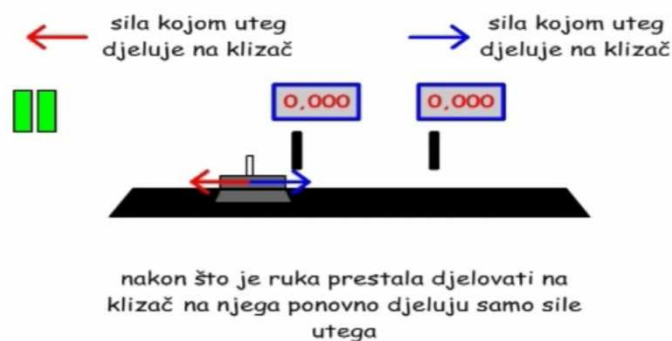
Dakle, na klizač smo u horizontalnom smjeru djelovali sa dvjema silama jednakih iznosa ali suprotnih smjerova; jedna sila je djelovala u lijevo a druga u desno te smo nakon uključivanja puhača vidjeli da klizač miruje sukladno I. Newtonovom zakonu.

Pomoću kartončića na klizaču i svjetlosnih vrata pristupili smo očitavanju brzine klizača na dva proizvoljno odabrana mjesta na klupi. Klizaču smo dali neku početnu brzinu povlačenjem konopca i zaustavili ga prolaskom kroz druga svjetlosna vrata.



Budući su vremenski intervali potrebni da klizač prođe kroz svjetlosna vrata jednaki neovisno o odabranom mjestu na zračnoj klupi zaključili smo da je brzina klizača na zračnoj klupi konstantna odnosno da se klizač giba jednoliko.

Pokusom smo pokazali da ako je suma svih sila koje djeluju na tijelo jednaka nuli tijelo koje je u mirovanju će u istome ostati, a ono tijelo koje se gibalo jednoliko nastaviti će se gibati jednoliko po pravcu, što je sukladno I. Newtonovom zakonu.



Na kraju izvođenja pokusa obratili smo pažnju na još dvije sile koje djeluju na klizač u vertikalnom smjeru; na silu težu koja na klizač djeluje vertikalno prema dolje i zrak koji se ispuhuje iz klupe koji potiskuje klizač vertikalno prema gore. S obzirom da klizač miruje i te dvije sile moraju biti jednakog iznosa da bi bile u skladu sa I. Newtonovim zakonom.

Pitanja za učenike

- 1. Objasni I. Newtonov zakon uz pomoć izvedenog pokusa.*

3.3.2. Drugi Newtonov zakon

V. pokus

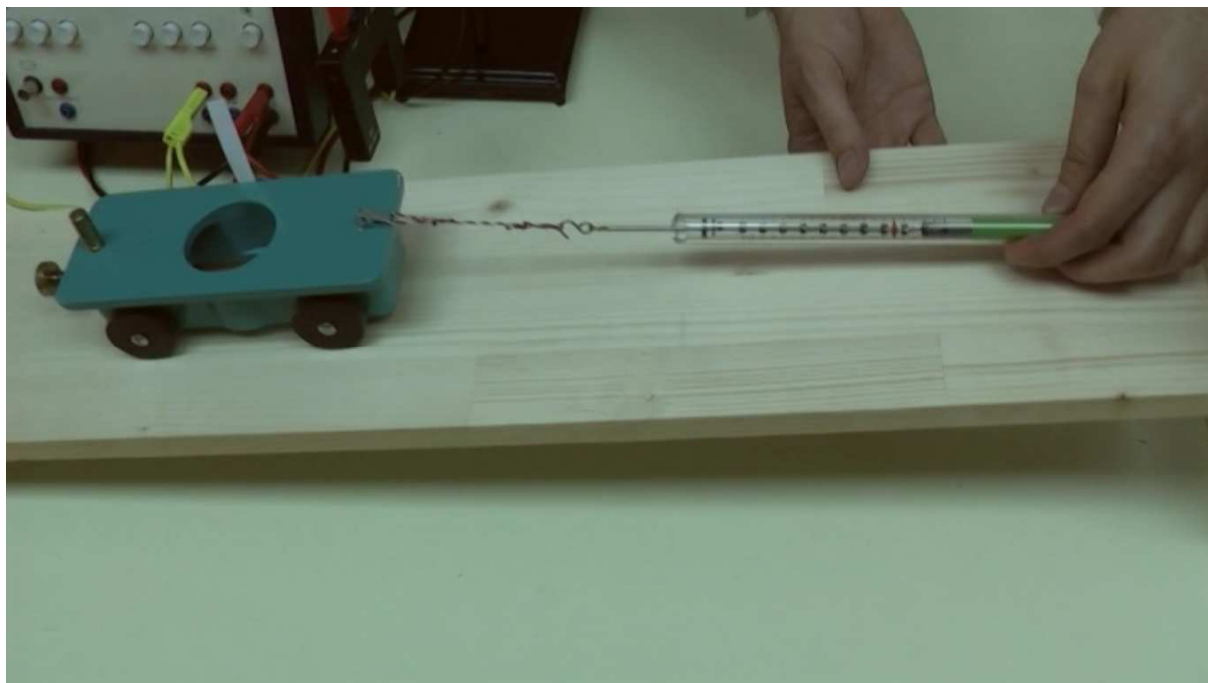
DVD I

Trajanje pokusa: 24 minute i 24 sekunde

Ubrzanje tijela je proporcionalno sili koja djeluje na tijelo i istog je smjera, a obrnuto je proporcionalna masi tijela.



Navedeni II. Newtonov zakon objasnili smo podjelom pokusa u dva dijela te svaki od ta dva dijela u tri poddijela u kojima smo promatrali što se događa s ubrzanjem ako mijenjamo silu kojom djelujemo na kolica te što se događa s ubrzanjem ako tijelu mijenjamo masu bez promjene sile.



U prvom dijelu pokusa mijenjali smo iznos sile na tijelo; u prvom poddijelu pokusa iznos sile je bio 0,4 N, u drugome poddijelu 0,8 N te konačno u trećem poddijelu iznos sile je bio 1,2 N.



$$a = \frac{v_{\text{konačna}}}{\Delta t}$$

$$v_{\text{konačna}} = \frac{0,01 \text{ m}}{\Delta t}$$

sila koja djeluje na tijelo	0,4 N	0,8 N
akceleracija tijela	$0,48 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	$0,96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Ubrzanje je definirano omjerom promjene brzine i vremena potrebnog za tu promjenu, pa smo dobili rezultate svih triju poddijela pokusa koje smo zatim ubacili u tablicu.

Jednostavnom usporedbom navedenih rezultata vidimo da koliko puta povećavamo silu na tijelo toliko puta ubrzanje poraste, odnosno zaključujemo da je ubrzanje tijela proporcionalno sili koja djeluje na to tijelo.

Navedenu proporcionalnost tih dviju veličina možemo najbolje uočiti ako izmjerene vrijednosti unesemo u F-a graf. Kada su dvije veličine proporcionalne jedna drugoj numeričkom prilagodbom točaka na grafu dobivamo pravac, što je vidljivo i ovdje.

Drugi dio pokusa pokazuje kako se ubrzanje mijenja sa promjenom mase tijela pod utjecajem sile nepromijenjenog iznosa.

Za kolica smo privezali dodatna kolica i tako mijenjali, odnosno povećavali, masu tijela koje se giba po kosini na kojoj smo koristili utjecaj sile trenja kako se ne bi javljale druge sile. Dakle, stalna će biti ona sila na kolica na kosini a masu ćemo mijenjati povezujući kolica sa kolicima jednake mase na podlozi na kojoj je neutralizirano trenje.

Svaki od tri poddijela ovog dijela pokusa dao je rezultate koje smo također uvrstili u tablicu i usporedili. Usporedbom odnosno analizom tablice vidimo da što smo povećavali masu kolica to smo smanjivali akceleraciju. Zaključak koji možemo izvući iz navedenog da koliko puta povećavamo masu tijela toliko puta se smanjuje ubrzanje tijela odnosno da je ubrzanje obrnuto proporcionalno masi tijela.



$$a = \frac{v_{\text{konačna}}}{\Delta t}$$

$$v_{\text{konačna}} = \frac{0,01 \text{ m}}{\Delta t} = 0,48 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

masa tijela	680 g	1360 g	2040 g
akceleracija tijela	0,96 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	0,48 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	

I ovdje smo izmjerene vrijednosti ubacili u graf; na apscisu smo unijeli vrijednosti mase tijela a na ordinatu vrijednosti ubrzanja tijela.

Zaključno, iz ova dva dijela pokusa pokazali smo da je ubrzanje proporcionalna sili koja djeluje na masu, a obrnuto proporcionalno masi što nam spajanjem daje relaciju koja predstavlja II. Newtonov zakon.

Pitanja za učenike

1. *Objasni II. Newtonov zakon.*

3.3.3. Treći Newtonov zakon

VI. pokus

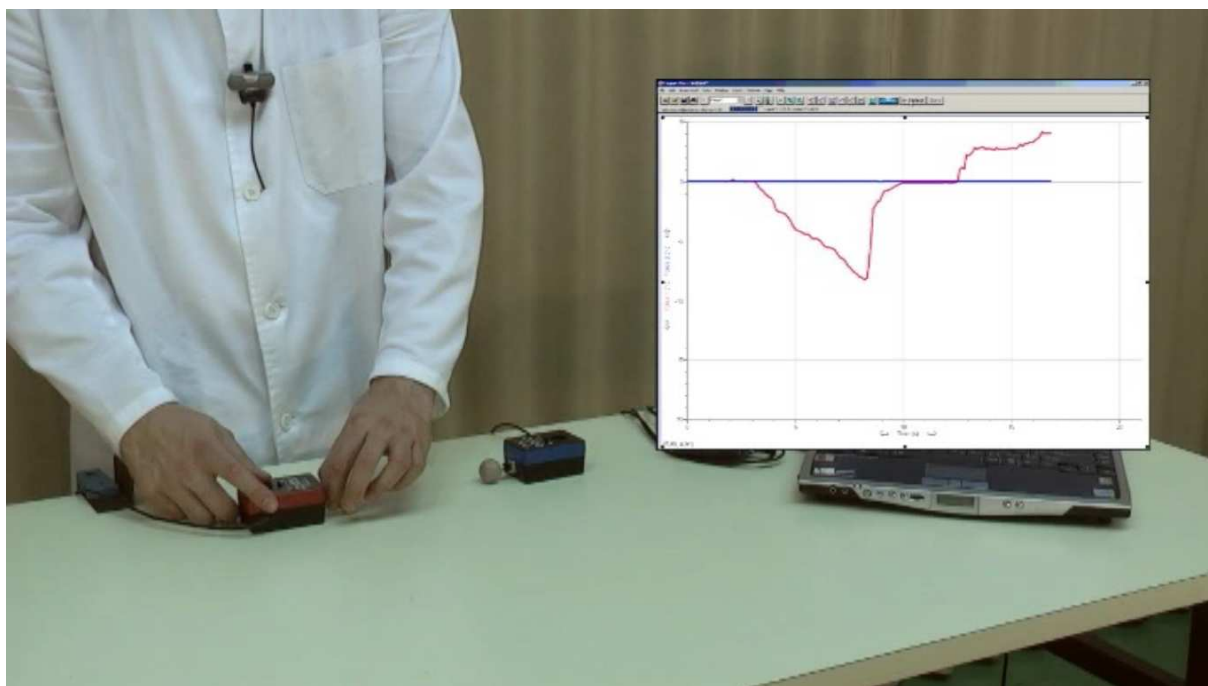
DVD I

Trajanje pokusa: 7 minuta i 20 sekundi

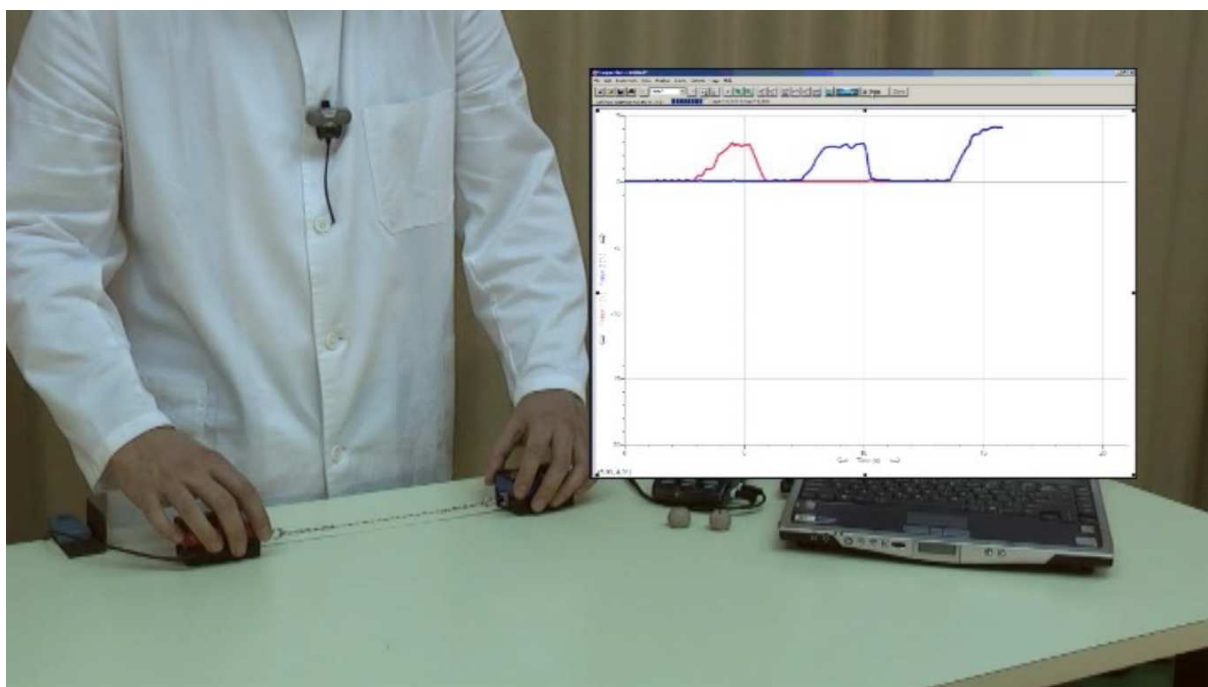
Ako jedno tijelo djeluje na drugo nekom silom, istodobno drugo tijelo djeluje na prvo silom jednake vrijednosti ali suprotnog smjera.

Pokus kojim smo dokazivali III. Newtonov zakon izvodili smo uz pomoć, za razliku od aparature korištene u prošlim pokusima, električnim dinamometrima koji silu učitavaju izravno na računalu. Prednosti ovih dinamometara jesu neposredan uvid u mijenjanje iznosa sile na iste s vremenom i mogućnost da uz vučnu silu mjere i silu pritiska. Na računalu se na ordinati prikazuje iznos sile a na apscisi, vrijeme.

Ovisno da li jače ili slabije pritisnemo ili povučemo dinamometar iznos sile se mijenja s vremenom.



U ovom pokusu smo se služili sa dva dinamometra koje smo obilježili crvenom i plavom bojom, crveni dinamometar ostavlja crveni trag na grafu prikazanom na računalu a plavi ostavlja plavi trag na istome. Pritiskom dinamometara jednog o drugi na grafu smo vidjeli da je iznos sile na oba dinamometra u svakom trenutku bio jednak. Povezivanjem dinamometra konopcem te povlačenjem svakoga na svoju stranu vidjeli smo ponovno da je iznos sile na oba dinamometra jednak u svakom trenutku.

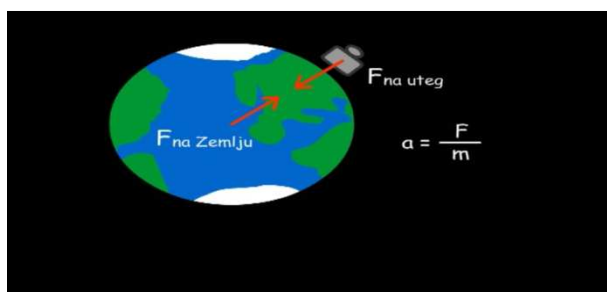


Zatim smo pristupili utvrđivanju eventualne promjene u slučaju fiksiranja jednog dinamometra za stol. No promjena je izostala odnosno iznos sile je ponovno bio jednak u svakom trenutku na oba dinamometra.

Ovime smo pokazali da ako jedno tijelo djeluje na drugo nekom silom ono isto djeluje na prvo silom istog iznosa ali suprotnog smjera, što je definirano III. Newtonovim zakonom.

Ono što je potrebno spomenuti jest da su na grafu obje sile istog smjera iz razloga što su dinamometri okrenuti u suprotnim smjerovima.

I na kraju crtežom smo prikazali primjenu III. Newtonovog zakona na primjeru tijela u zraku i Zemlje Gravitacijska sila djeluje na daljinu.



Sukladno III. Newtonovom zakonu sila Zemlje na tijelo jednaka je po iznosu sili tijela na Zemlju. S obzirom da je masa Zemlje puno veća od mase tijela, da bi to bilo ispunjeno, ubrzanje Zemlje je tijekom tog međudjelovanja znatno manje od ubrzanja tijela.

Pitanja za učenike

- 1. Što je to dinamometar? Kako grafički prikazujemo djelovanje sile na tijelo?*
- 2. Na koji način smo pokusima prikazali svojstva Newtonovih zakona?*

4. GIBANJA

4.1. ELASTIČNI SUDARI I KOLIČINA GIBANJA

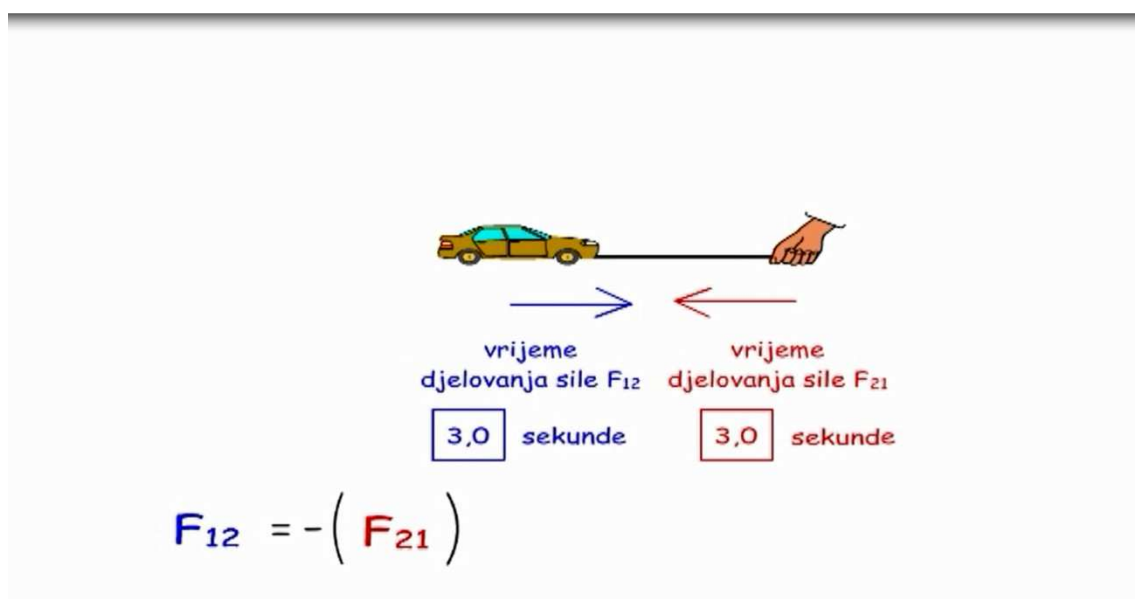
I. pokus

DVD II

Trajanje pokusa: 8 minuta i 48 sekunda



Na početku objašnjavanja elastičnih sudara podsjetili smo se III. Newtonovog zakona; kada dva tijela međusobno djeluju jedno na drugo, sile kojima djeluju jesu istog iznosa ali suprotnih smjerova.

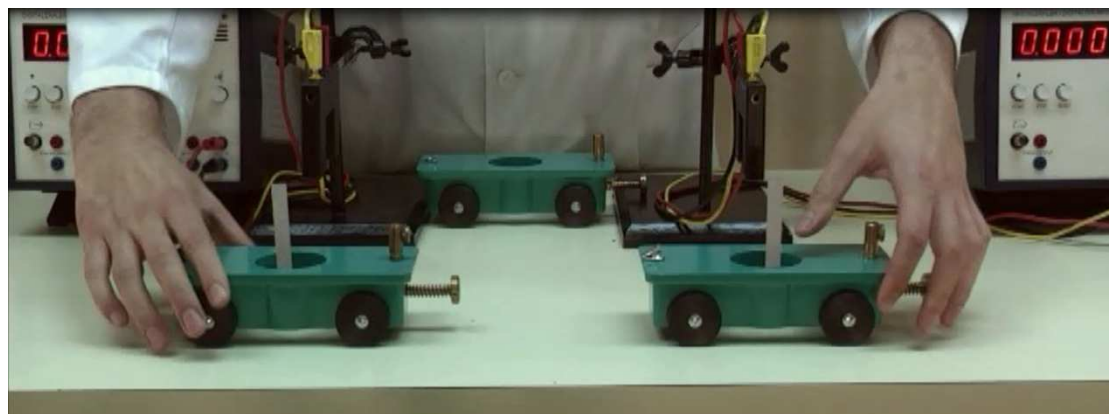


Vremenski intervali u kojima djeluju te sile jesu isto tako jednaki. Prema tome, i umnošci svake sile i vremenskog intervala u kojem je sila djelovala jesu jednaki. Upravo taj umnožak nazivamo impuls sile. Uvrštavanjem izraza za II. Newtonov zakon dobivamo da je impuls sile jednak umnošku mase i promjene brzine tijela, odnosno promjeni količine gibanja tijela.

$$F \Delta t = m \Delta v$$
$$m \Delta v \longrightarrow \text{promjena količine gibanja}$$
$$m_1 \Delta v_1 = - m_2 \Delta v_2$$
$$F \Delta t \longrightarrow \begin{matrix} \text{impuls} \\ \text{sile} \end{matrix}$$
$$\mathbf{F_{12} \Delta t_{12} = - F_{21} \Delta t_{21}}$$

Budući smo uz pomoć III. Newtonovog zakona pokazali da kada tijela međudjeluju impuls sile na jedno tijelo jednak je impulsu sile na drugo tijelo ali s razlikom u smjeru djelovanja, zaključili smo da je prema tome i promjena količine gibanja jednog tijela po iznosu jednaka promjeni količine gibanja drugog tijela ali isto tako sa razlikom u smjeru.

Pristupili smo provjeri te relacije u dva primjera, odnosno provjerili smo što će se dogoditi ako gurnemo jedna kolica nekom brzinom na druga kolica koja miruju.

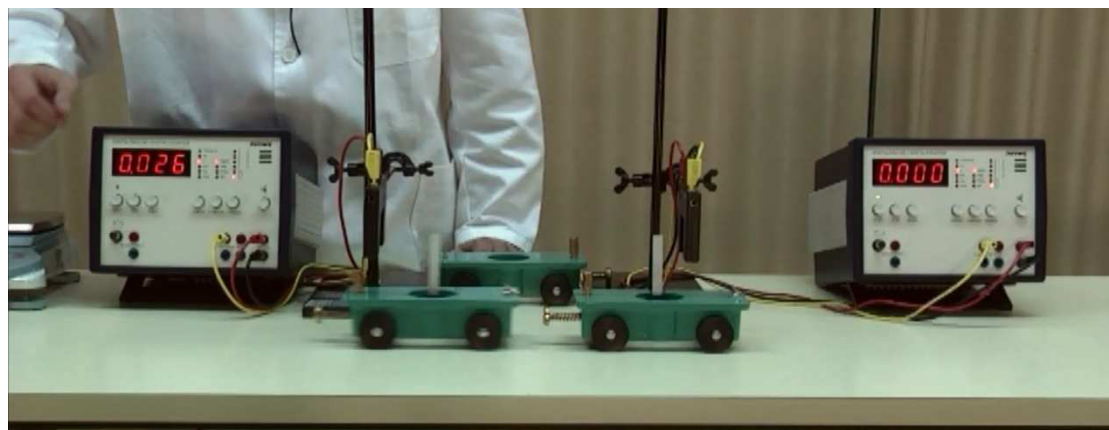


$$F \Delta t \rightarrow \begin{matrix} \text{impuls} \\ \text{sile} \end{matrix} \quad m \Delta v \rightarrow \begin{matrix} \text{promjena količine} \\ \text{gibanja} \end{matrix}$$

$$F_{12} \Delta t_{12} = - F_{21} \Delta t_{21} \quad m_1 \Delta v_1 = - m_2 \Delta v_2$$

Prilikom izvođenja prvog primjera vidjeli smo da su se prva kolica zaustavila a druga se nastavila gibati. Zatim smo izmjerili mase kolica i promjene njihovih brzina.

Promjene brzine kolica smo izmjerili uz pomoć svjetlosnih vrata i kartončića širine jedan centimetar a mase kolica vagom.



$$m \Delta v_1 = - m \Delta v_2$$

Budući je promjena brzine jednaka razlici konačne i početne brzine, potvrdili smo da je promjena količine gibanja jednog tijela po iznosu jednaka promjeni količine gibanja drugog tijela sa razlikom u smjeru. U drugom primjeru smo masu mirujućih kolica dvostruko povećali spajanjem na još jedna kolica iste mase.



$$m_1 \Delta v_1 = - 2 m_1 \Delta v_2$$

Kao i u prvom primjeru, kolica sa početnom brzinom su se nakon sudara zaustavila a mirujuća kolica se počela gibati, te smo izračunali promjenu količine gibanja u ovom slučaju. Našu relaciju o promjeni količine gibanja možemo zapisati na način da ista sada glasi: suma obaju promjena količine gibanja je jednaka nuli, odnosno u slučaju više tijela u sudaru suma promjene količine gibanja svih tijela jednaka je nuli.

Tu zakonitost nazivamo zakon o očuvanju količine gibanja.

Pitanja za učenike

1. Što je to impuls sile?
2. Objasni zakon očuvanja količine gibanja.

4.2. UBRZANJE SILE TEŽE

II. pokus

DVD II

Trajanje pokusa: 12 minuta i 25 sekunda



Ako pustimo tijelo sa neke visine da se slobodno pada znamo da ono ubrzava pod utjecajem sile teže. Ali da li je to ubrzanje stalno i ako je, koliki je iznos tog ubrzanja? Na to pitanje dali smo odgovor na drugačiji način od onoga u pokusu sa ubrzanjem.

Nakon prikazivanja načina na koji se dobiva relacija koja povezuje ubrzanje, put i vrijeme, odabrali smo tri visine sa kojih smo puštali tijelo da pada, izmjerili vrijeme koje je potrebno tijelu da prijeđe svaki od tih puta i uz pomoć izvedene formule smo izračunali ubrzanja te pristupili usporedbi rezultata.

Pokus smo izvodili puštanjem tijela sa visina od 0.6 m, 1.2 m i 1.8 m te smo uz pomoć svjetlosnih vrata izmjerili vrijeme potrebno tijelu da prijeđe te putove slobodno padajući. Tijelo (kuglica) je slobodno padalo kroz prozirnu cijev.

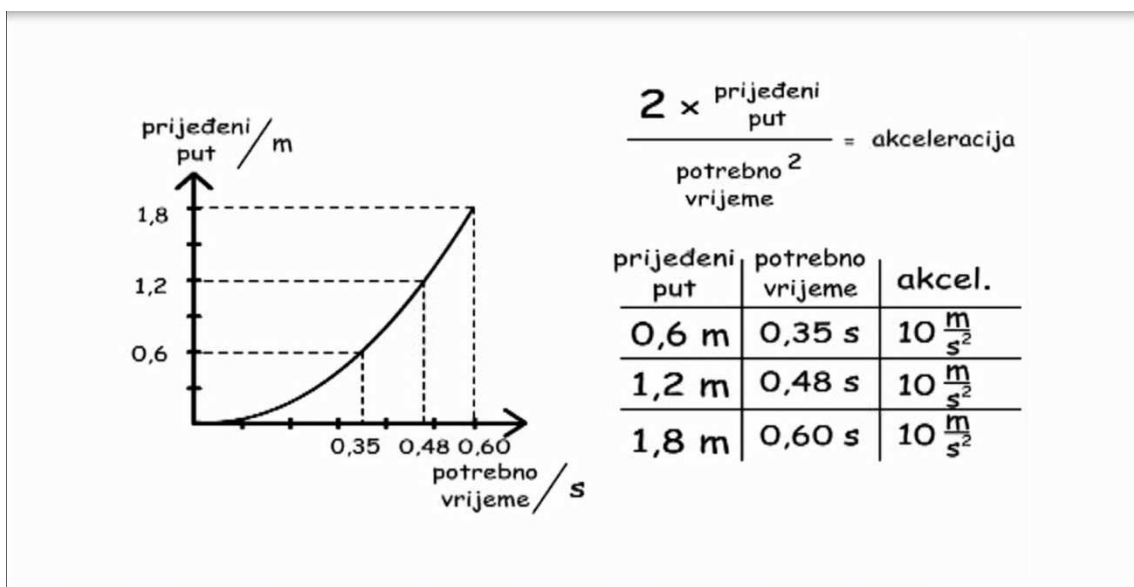


$$\frac{2 \times \text{prijeđeni put}}{\text{potrebno}^2 \text{ vrijeme}} = \text{akceleracija}$$

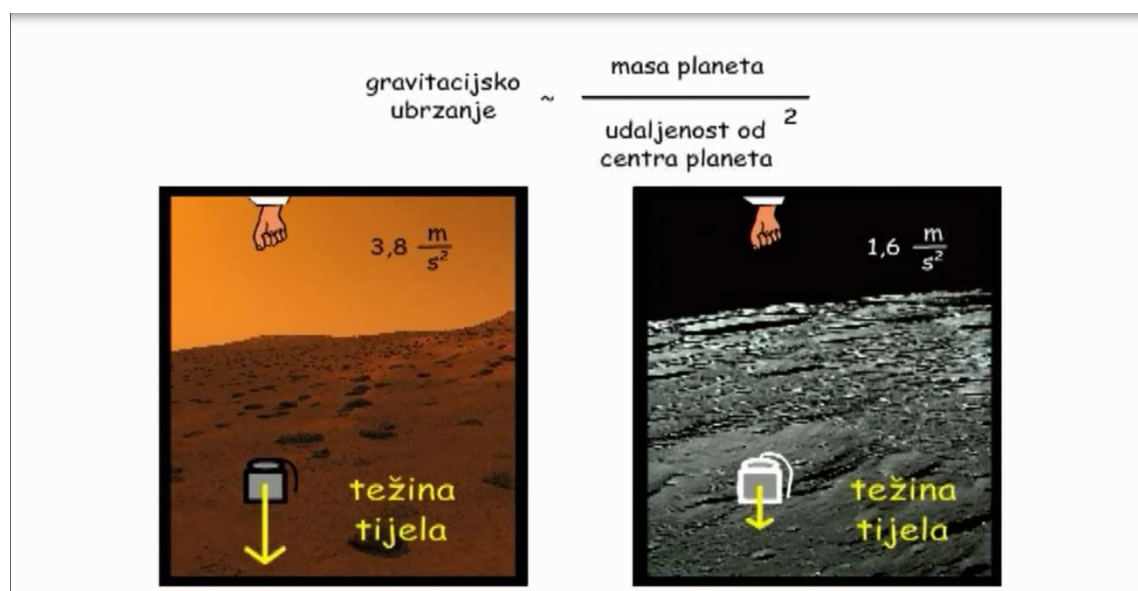
prijeđeni put	potrebno vrijeme	akcel.
0,6 m	0,35 s	$10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
1,2 m	0,48 s	$10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
1,8 m		

Nakon izvođenja svih triju dijela pokusa usporedbom dobivenih rezultata vidjeli smo da je ubrzanje u sva tri dijela jednako odnosno da je ubrzanje na površini Zemlje stalno i da iznosi oko 10 m/s^2 .

I ovdje smo pristupili prikazu rezultata na grafu pa smo na horizontalnu os postavili izmjerena vremena a na vertikalnu os putove koje je kuglica prešla u tim vremenima. Graf matematičke funkcije u kojoj se jedna veličina mijenja sa kvadratom druge veličine jest parabola.



Na kraju ove skupine pokusa smo objasnili različitost gravitacijskih ubrzanja na različitim planetima. Naime, gravitacijsko ubrzanje je proporcionalno masi planeta i obrnuto proporcionalno kvadratu udaljenosti od centra mase planeta. Za primjer smo uzeli Mars; na istome je omjer mase i kvadrata radijusa manji od omjera mase i kvadrata radijusa Zemlje, odnosno kada bi izvedeni pokus izvodili na površini Marsa dobili bismo gravitacijsko ubrzanje od oko $3,8 \text{ m/s}^2$. Samim time i težina tijela je manja jer je ista definirana kao umnožak mase tijela i gravitacijskog ubrzanja. Još manje gravitacijsko ubrzanje bi dobili kada bi ovaj pokus izvodili na površini Mjeseca jer bi ono iznosilo $1,6 \text{ m/s}^2$ pa bi proporcionalno tome i težina tijela na površini Mjeseca bila manja. Prema tome, težina tijela je različita na različitim mjestima u svemiru ovisno o iznosu gravitacijskog ubrzanja na tom mjestu dok je masa tijela svugdje u svemiru jednaka.



Pitanja za učenike

1. Koliko iznosi ubrzanje na površini Zemlje?
2. Objasni ubrzanje sile teže.

4.3. JEDNOLIKO KRUŽNO GIBANJE

III. pokus

DVD II

Trajanje pokusa: 6 minuta i 43 sekunda

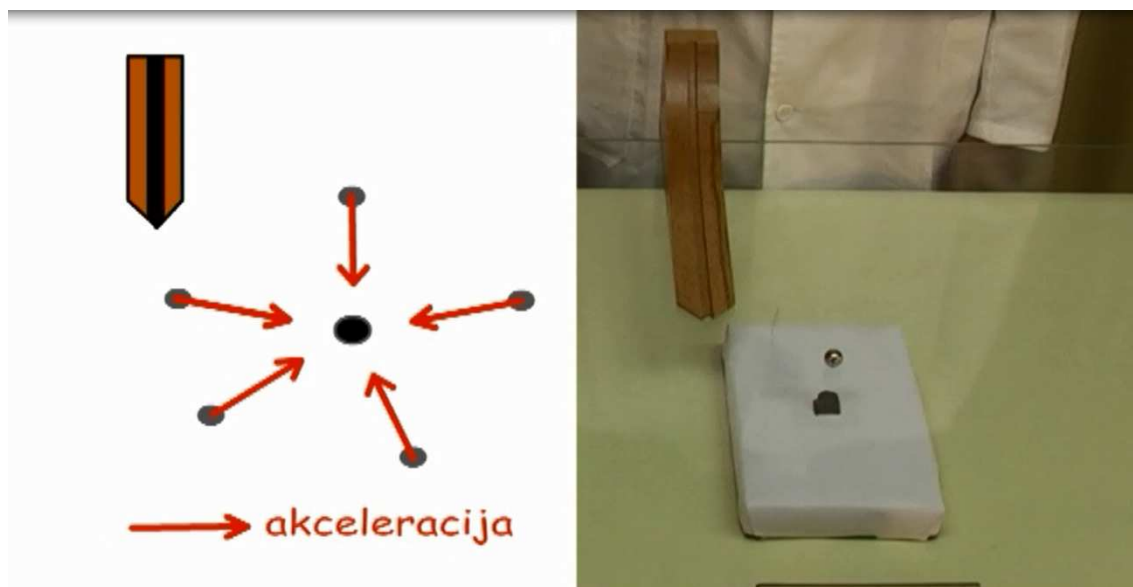


Karakteristike pokusa kojima ćemo objašnjavati kružna gibanja jesu da je, u odnosu na prethodne pokuse kojima smo objašnjavali translatorno gibanje gdje su ubrzanje i brzina, smjer brzine okomit na smjer akceleracije pa se ne mijenja iznos brzine već samo njen smjer. Uz to smo naveli i neke primjere iz prirode.

Postavljanjem magneta ispod staklene površine i puštanjem metalne kuglice iz bilo koje točke vidjeli smo da je magnet privlači te ona ubrzava uvijek prema istoj točki gdje je najbliža magnetu. Smjer ubrzanja smo označili jer nam je potreban i u drugim pokusima.



Niz kosinu sa žlijebom puštali smo kuglicu okomito na smjer ubrzanja koji smo prethodno odredili. Kuglica je mijenjala iznos brzine niz kosinu odnosno ubrzavala je, ali kada je napustila kosinu iznos njezine brzine se više nije mijenjao. Označili smo smjer njezine brzine i na taj način dobili slučaj da je u tom trenutku smjer ubrzanja kugle okomit na smjer njezine brzine. Puštanjem kuglice vidjeli smo da je magnetska sila zakrenula putanju kuglice.



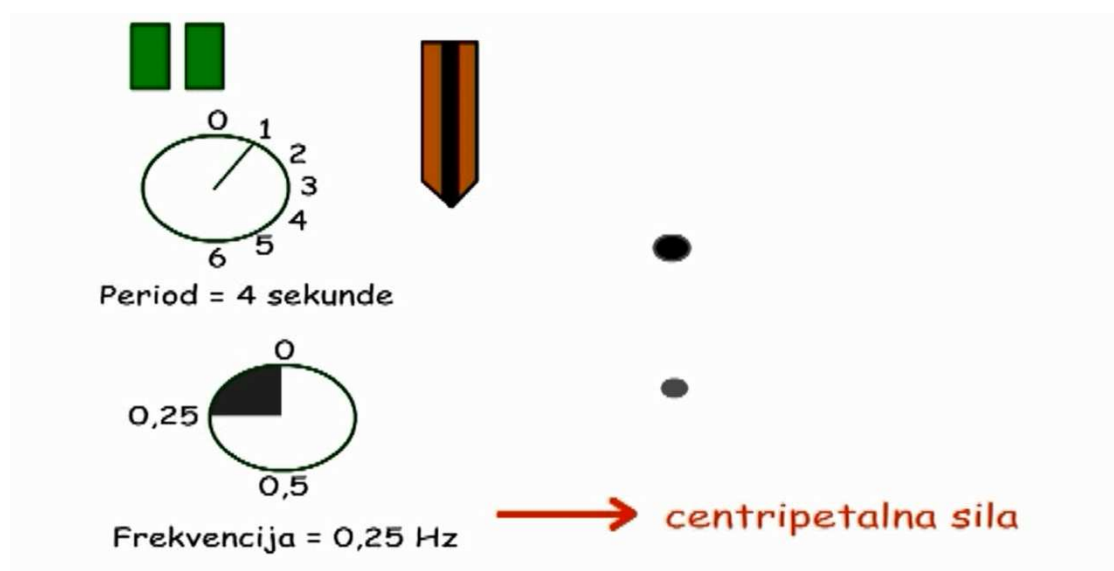
Zatim smo kuglicu pustili sa nešto niže točke na kosini i vidjeli da kuglica u tom slučaju ima manju brzinu pri izlazu sa kosine. Magnetska sila je u svakom trenutku djelovala okomito na njezinu brzinu na način da je zakretala njezinu putanju u kružnicu. Akceleracija i brzina su okomite jedna na drugu pa se iznos brzine ne mijenja.

Primjer iz prirode koji smo izložili za ovakav slučaj jest Zemljino privlačenje Mjeseca. Mjesec ima stalnu brzinu i stoga stabilno kruži oko Zemlje.

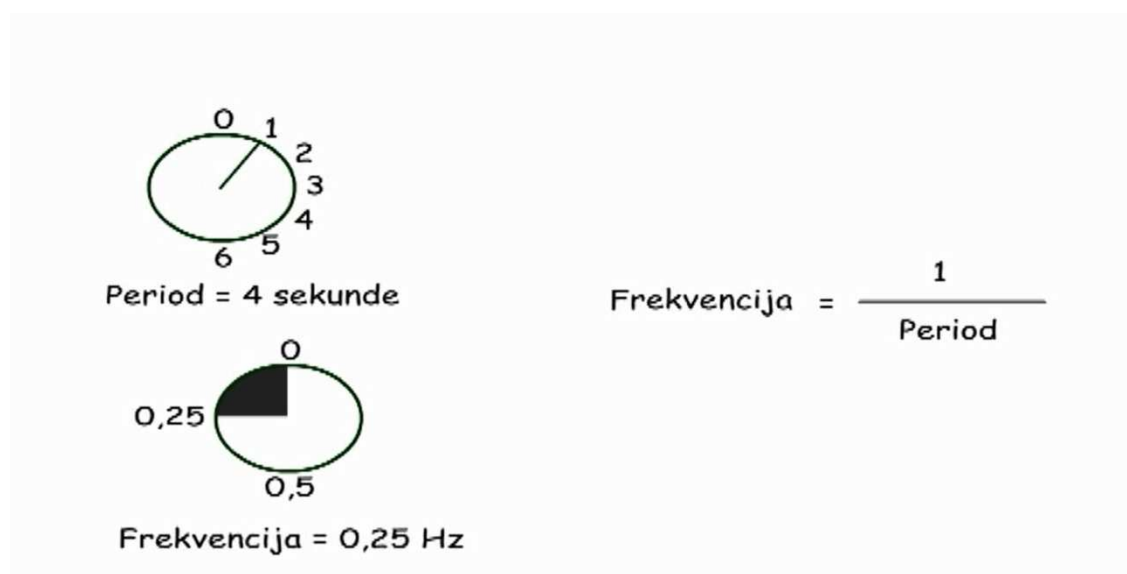
I na kraju smo kuglicu pustili sa još niže točke na kosini. Vidjeli smo da se kuglica spiralno približava prema magnetu te se na kraju zaustavlja iznad njega. Primjer iz prirode koji smo za ovakav slučaj odabrali jesu asteroidi koji presijecaju Zemljinu putanju. Ako asteroidi prolaze na prevelikoj udaljenosti od Zemlje ili pak prevelikom brzinom gravitacijski utjecaj Zemlje će biti premalen da ih privuče. Zemlja će u tim slučajevima samo preusmjeriti smjer njihove putanje.

Međutim, ako asteroid ima dovoljno malu brzinu i prolazi dovoljno blizu Zemlje on će se spiralno obrušiti na Zemlju kao što se u ovom našem pokusu kuglica obrušila nad magnetom.

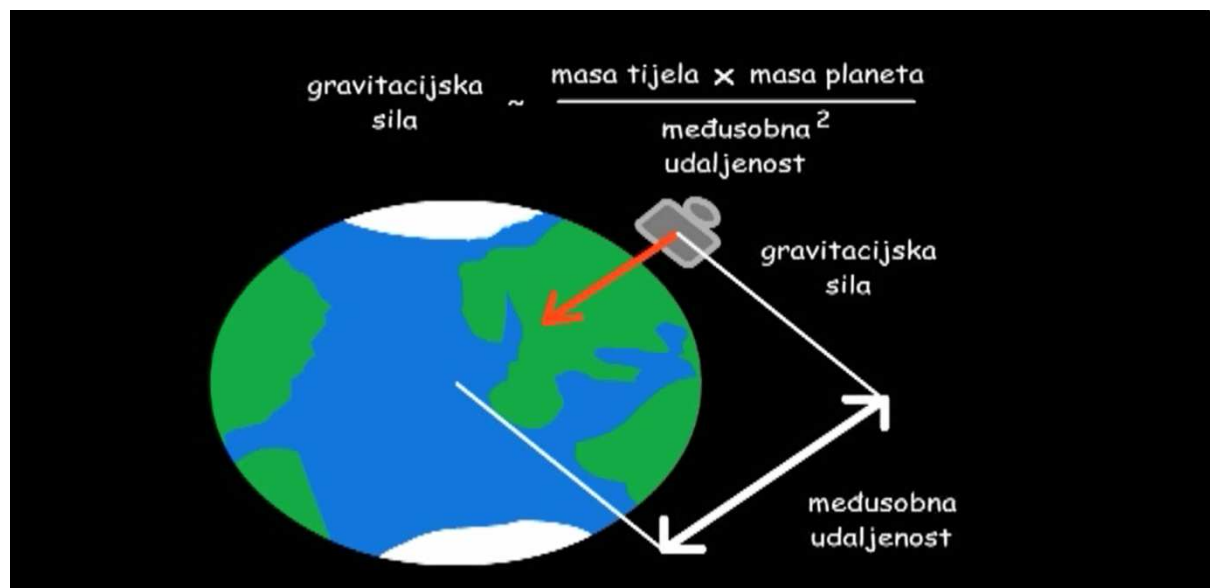
Kada stalna sila djeluje na tijelo tako da je u svakom trenutku okomita na njegovu brzinu radi se o centripetalnoj sili. U tom slučaju tijelo se uvijek giba po kružnici.



Vrijeme potrebno da tijelo prijeđe jedan puni krug nazivamo period a broj krugova koji tijelo napravi u jednoj sekundi nazivamo frekvencijom.



Na kraju pristupili smo grafičkom objašnjavanju gravitacijske sile prikazavši definiciju općeg ili Newtonovog zakona gravitacije.



Pitanja za učenike

1. *Objasni centripetalnu silu.*
2. *Što je period a što frekvencija?*

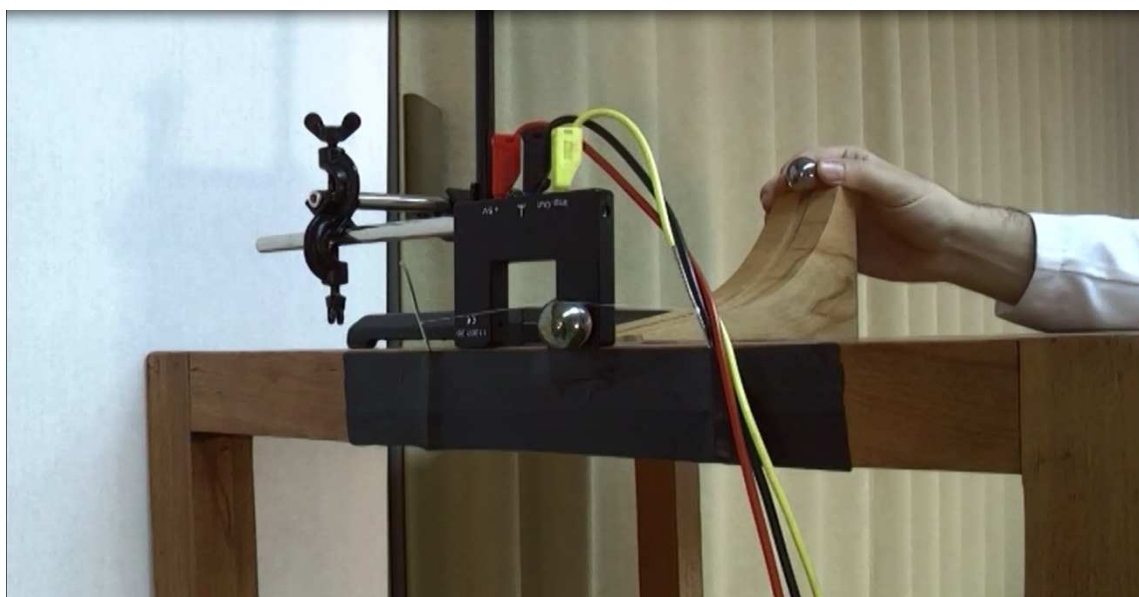
4.4. SLOŽENA GIBANJA

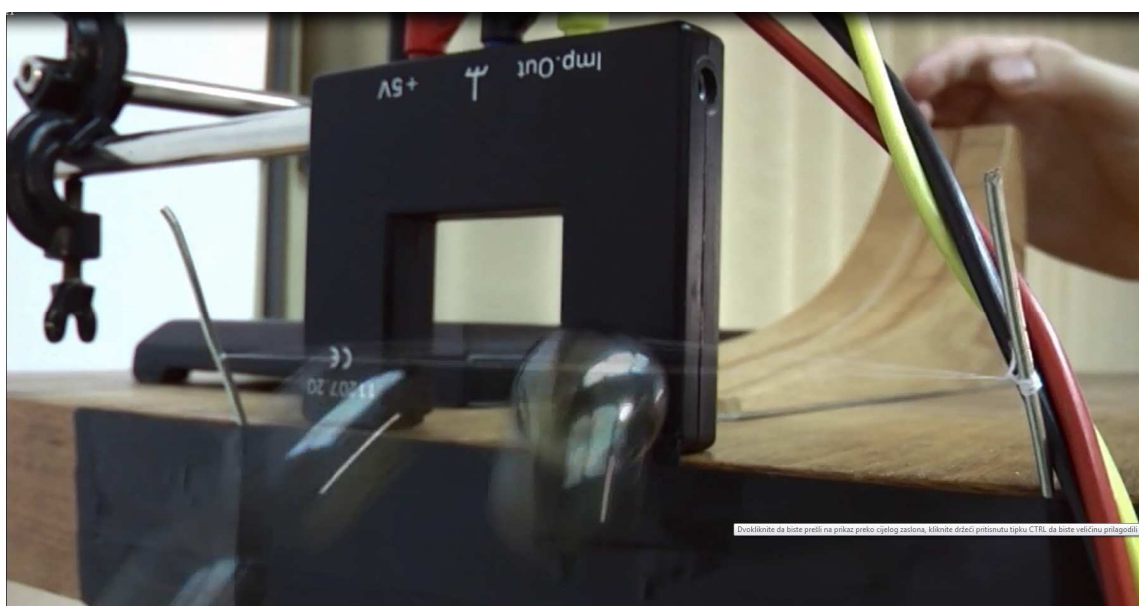
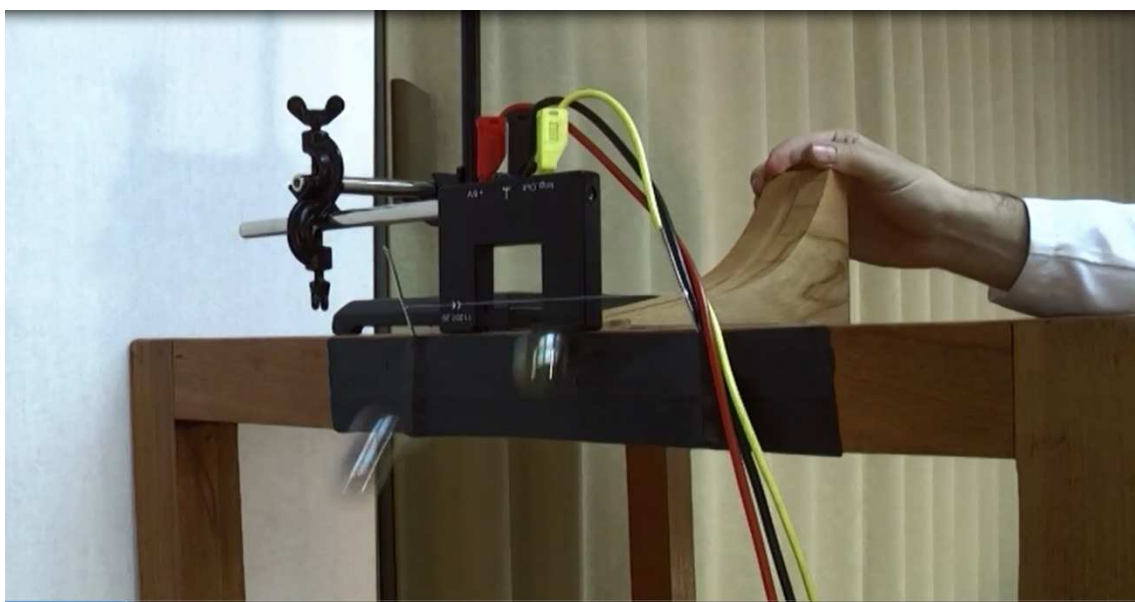
IV. pokus

DVD II

Trajanje pokusa: 8 minuta i 32 sekunde

Pokus kojim ćemo objasniti složena gibanja smo postavili tako da smo prvu kuglicu pustili sa kosine kako bi dobila početnu brzinu i pri napuštanju kosine ista je pomaknula konac te tako oslobodila drugu kuglicu što je prouzrokovalo slobodno padanje obje kuglice u istom trenutku. Dakle, pokus je bio postavljen na način da su obje kuglice u istom trenutku počele slobodno padati a samo je prva kuglica u tom trenutku imala početnu brzinu u horizontalnom smjeru. Početne brzine obje kuglice u vertikalnom smjeru jesu nula. Pristupili smo zatim uspoređivanju vremena potrebnih kuglicama da padnu na pod.





U pokusu kojim smo objašnjavali gravitacijsko ubrzanje izveli smo relaciju za prijeđeni put tijela u slobodnom padu.



Spomenuti put je dan polovicom umnoška gravitacijskog ubrzanja i kvadrata vremena tijekom kojeg tijelo pada. Koristeći navedenu formulu za prijeđeni put pri slobodnom padu izračunali smo vrijeme padanja druge kuglice. Primijetili smo da su kuglice pale u istom trenutku pa smo zaključili da je vrijeme padanja prve kuglice jednako vremenu padanja druge kuglice.

Uz pomoć svjetlosnih vrata odredili smo početnu brzinu prve kuglice u horizontalnom smjeru. Brzina kuglice pri izlasku sa kosine će biti dana omjerom njezinog promjera i vremena koje će joj biti potrebno da prođe kroz svjetlosna vrata. Uvrštavanjem vrijednosti u navedenu formulu dobili smo brzinu prve kuglice. Nakon napuštanja kosine na kuglicu u horizontalnom smjeru više ne djeluje nijedna sila. Prvi Newtonov zakon nam govori da ako na tijelo ne djeluje nijedna sila ono se nastavlja gibati stalnom brzinom. Ali nakon napuštanja kosine na kuglicu u vertikalnom smjeru djeluje sila teža. Drugi Newtonov zakon nam govori da ako na tijelo djeluje stalna sila, tijelo jednoliko ubrzava.



Iz ovoga zaključujemo da će se kuglica u horizontalnom smjeru gibati stalnom brzinom koju je dobila pri napuštanju kosine a u vertikalnom smjeru kuglica će ubrzavati odnosno brzina će joj se povećavati. Prijeđeni put u horizontalnom smjeru je definiran umnoškom brzine kuglice i vremena tijekom kojeg se ona gibala. A da li je to stvarno tako provjerili smo usporedbom rezultata dobivenih uvrštavanjem vrijednosti u navedenu formulu i mjerenjem udaljenosti između mjesta gdje su kuglice pale. Budući su rezultati jednaki, možemo zaključiti da na gibanje u horizontalnom smjeru ne utječe gibanje u vertikalnom smjeru i obrnuto. Taj princip da na gibanje u jednom smjeru ne utječe njegovo gibanje u drugom smjeru nazivamo neovisnost gibanja.

Pitanja za učenike

1. *Objasni složena gibanja uz pomoć izvedenog pokusa.*
2. *Što je to neovisnost gibanja?*

5. SILE

5.1. Trenje

V. pokus

DVD II

Trajanje pokusa: 9 minuta i 15 sekunda

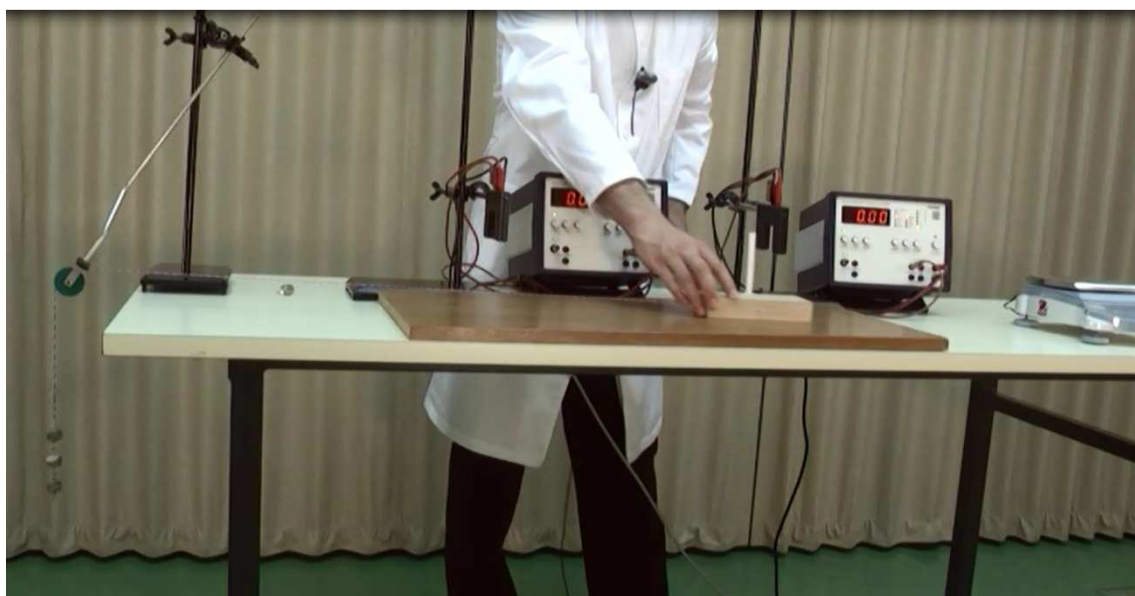


Kada neko tijelo gurnemo po horizontalnoj površini ono će se nakon nekog vremena zaustaviti.

Iz drugog Newtonovog zakona zaključujemo da postoji sila koja zaustavlja tijelo jer bi se isto u protivnom nastavilo gibati jednoliko. Ta sila djeluje između tijela i površine po kojoj se tijelo giba, odnosno podloge, i naziva se silom trenja i djeluje u suprotnom smjeru od brzine tijela ili smjera u kome bi se tijelo trebalo gibati ako se rati o statičkom trenju. Pokusima smo nastojali saznati nešto više o toj sili pa smo povezivali kvadar preko kolature sa utezima jednakih masa. Mijenjajući broj utega mijenjali smo silu koja djeluje na kvadar. Stavljajući samo jedan uteg kvadar se nije micao pa smo uz pomoć prvog Newtonovog zakona zaključili da na kvadar djeluje sila istog iznosa ali suprotnog smjera. Radi se o statičkoj sili trenja.

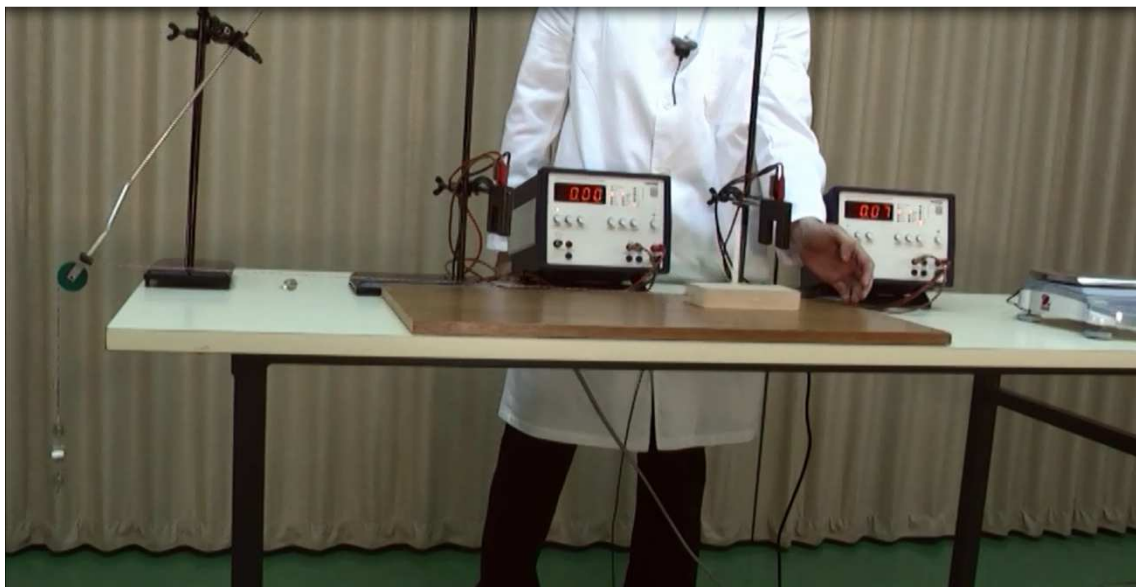


Dodajući još jedan uteg sila je uvećana za dvostruko no kvadar i dalje miruje pa zaključujemo da je statička sila trenja jednaka iznosu sila utega. Ni dodavanjem trećega utega kvadar se ne miče. Tek dodavanjem četvrtog utega kvadar se počinje gibati što znači da smo uspjeli nadvladati maksimalnu silu statičkog trenja.



Prema drugom Newtonovom zakonu zaključujemo da je vučna sila nadvladala statičku silu trenja. Dakle, dodavanjem utega smo dokazali da povećavanjem sile kojom pokušavamo pokrenuti tijelo po podlozi statička sila trenja raste do svog maksimuma te se daljnjim povećavanjem sile tijelo počinje gibati. Kada se kvadar giba na njega i dalje djeluje sila trenja koju nazivamo dinamičkom silom trenja.

Pristupili smo utvrđivanju da li postoji razlika između dinamičke i statičke sile trenja. To smo učinili objesivši na kvadar, preko kolotura, tri utega jednakih masa. Budući da kvadar miruje, maksimalna statička sila trenja mora biti jednaka ili veća iznosu sila triju utega. Pomoću svjetlosnih vrata odredili smo da li se tijelo giba ubrzano, jednoliko ili usporeno. Kvadru smo dali neku početnu brzinu gurnuvši ga rukom.



Nakon što je sila ruke pokrenula kvadar na njega je ista prestala djelovati kao i statička sila trenja a počela je djelovati dinamička sila trenja. Kvadar je brže prošao kroz druga svjetlosna vrata odnosno kvadar je ubrzao. Dakle, zbroj svih sila koje djeluju na kvadar nije nula.

Iz izvedenog pokusa vidimo da je vučna sila veća od dinamičke sile trenja pa zaključujemo da je maksimalna statička sila trenja veća od dinamičke sile trenja odnosno da je tijelo teže pokrenuti nego održati u gibanju.

Pitanja za učenike

1. *Objasni silu trenja.*
2. *Postoji li razlika između dinamičke i statičke sile trenja?*

5.2. Elastična sila

VI. pokus

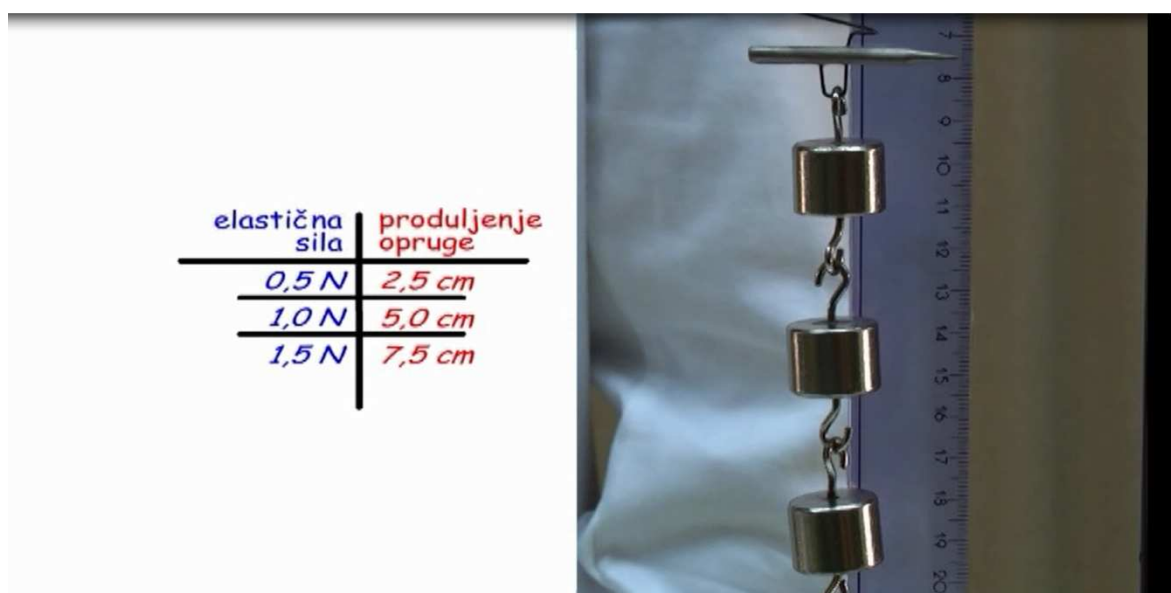
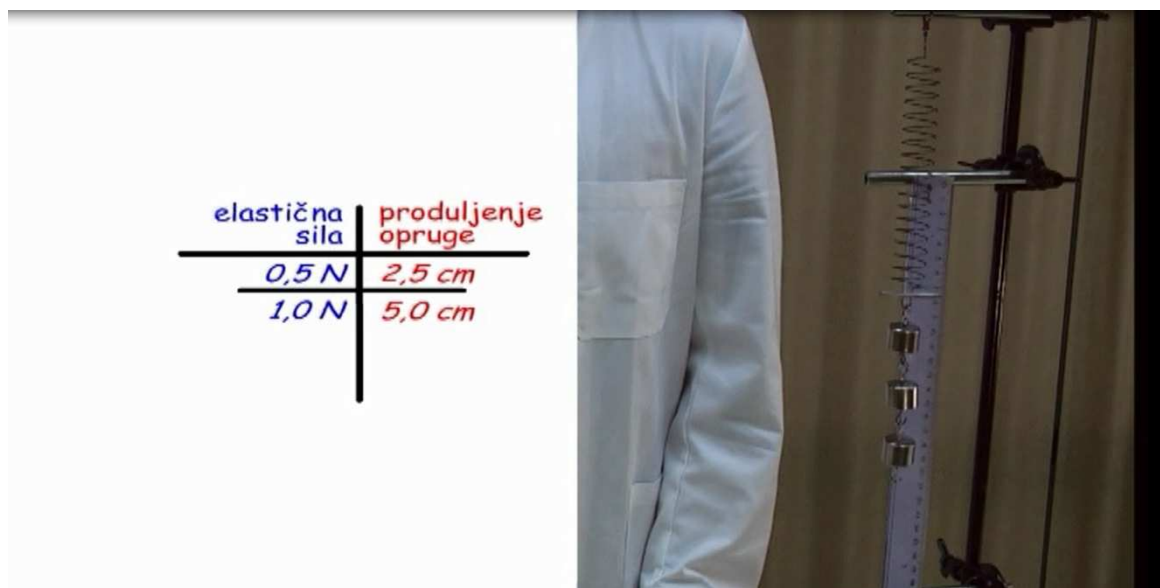
DVD II

Trajanje pokusa: 9 minuta i 33 sekunda

Elastičnu silu ćemo objasniti uz pomoć opruge.

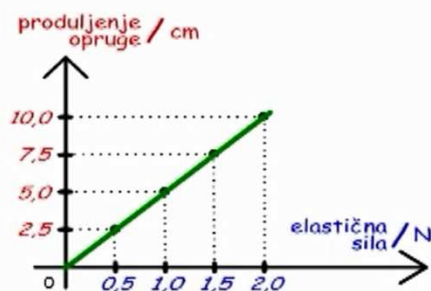


Ako je opruga pričvršćena za jedan kraj a vučemo ili pritišćemo njen drugi kraj, odnosno ako na njega primjenjujemo silu iz iskustva znamo da je potrebna veća sila da bi se opruga više rastegnula. Silu kojom se opruga opire tom rastezanju i privlačenju zovemo elastična sila. Elastična sila djeluje tako da oprugu uvijek vraća u ravnotežni položaj. Objesivši uteg na oprugu koja visi na stalku pokazali smo da na uteg djeluju dvije sile; elastična sila opruge vertikalno prema gore i sila teža vertikalno prema dolje. Budući da uteg miruje, prvi Newtonov zakon nam govori da iznosi tih sila moraju biti jednaki odnosno nakon što se uteg zaustavi suma svih sila koje djeluju na njega mora biti nula. Drugim riječima, elastična sila i sila teža moraju biti jednakih iznosa. Stavljajući više ili manje utega na oprugu, iznos elastične sile i produženje opruge se povećava odnosno smanjuje. Zaključak je da postoji povezanost između rastegnutosti opruge i elastične sile pa smo pristupili eksperimentalnom određivanju te povezanosti uz pomoć četiri utega približno jednakih masa koje smo vješali na oprugu. Produženje opruge smo očitavali na mjernoj skali.



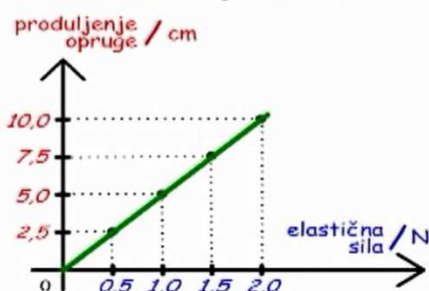
Za svaki iznos elastične sile opruga će se produžiti za određenu duljinu a parove tih vrijednosti smo najprije upisali u tablicu a zatim unijeli na graf. Povezivanjem točaka na grafu smo dobili pravac.

elastična sila	produljenje opruge
0,5 N	2,5 cm
1,0 N	5,0 cm
1,5 N	7,5 cm
2,0 N	10,0 cm



Zaključak jest da je iznos elastične sile proporcionalan rastezanju opruge a ta zakonitost se zove Hookeov zakon. Navedena zakonitost matematički glasi: elastična sila je jednaka umnošku produljenja opruge (s) i faktora proporcionalnost (k) koji je karakterističan za svaku oprugu a nazivamo ga konstantom opruge koja nam pokazuje koliko će se opruga rastegnuti pod utjecajem neke sile. Što je oprugu teže rastezati, konstanta opruge je veća. U slijedećem pokusu smo objesili držač za stalak nepoznate težine na oprugu.

elastična sila	produljenje opruge
0,5 N	2,5 cm
1,0 N	5,0 cm
1,5 N	7,5 cm
2,0 N	10,0 cm



Hookeov zakon

$$F_{el} \sim \text{produljenje opruge}$$

$$F_{el} = s \times k$$

konstanta
opruge

Opruga se rastegnula za sedam centimetara te smo tu vrijednost ubacili u formulu za elastičnu silu uz konstantu opruge koju smo prethodno izračunali i dobili smo da je iznos elastične sile 1,4 N. Kao što smo već utvrdili po prvom Newtonovom zakonu, iznos te elastične sile jednak je težini tog držača. Utvrđenu silu držača mogli smo odrediti i iz grafa.

Mjerenjem težine držača na vagi vidjeli smo da je iznos jednak prethodno dobivenom iznosu elastične sile. Na istom principu funkcionira dinamometar u kojem se nalazi opruga. S obzirom da svaka primijenjena sila ima svoje odgovarajuće produljenje, na mjernoj skali dinamometra umjesto tog produljenja možemo očitati iznos te primijenjene sile.

Na kraju treba spomenuti da niti jednu oprugu ne možemo opterećivati proizvoljnom silom a da se opruga uvijek vraća u prvobitno stanje. Ako primijenimo preveliku silu opruga se više neće vraćati u prvobitno stanje, nego će nakon prestanka djelovanja sile biti nešto više rastegnuta. Ako imamo takav slučaj znači da smo primijenili preveliku silu te je došlo do unutarnje deformacije opruge. Naime, ona je u takvom slučaju izašla iz stanja elastičnosti i ušla u područje plastičnosti.

Pitanja za učenike

1. *Objasni Hookeov zakon.*

6. ENERGIJA

6.1. Gravitacijska potencijalna u kinetičku energiju

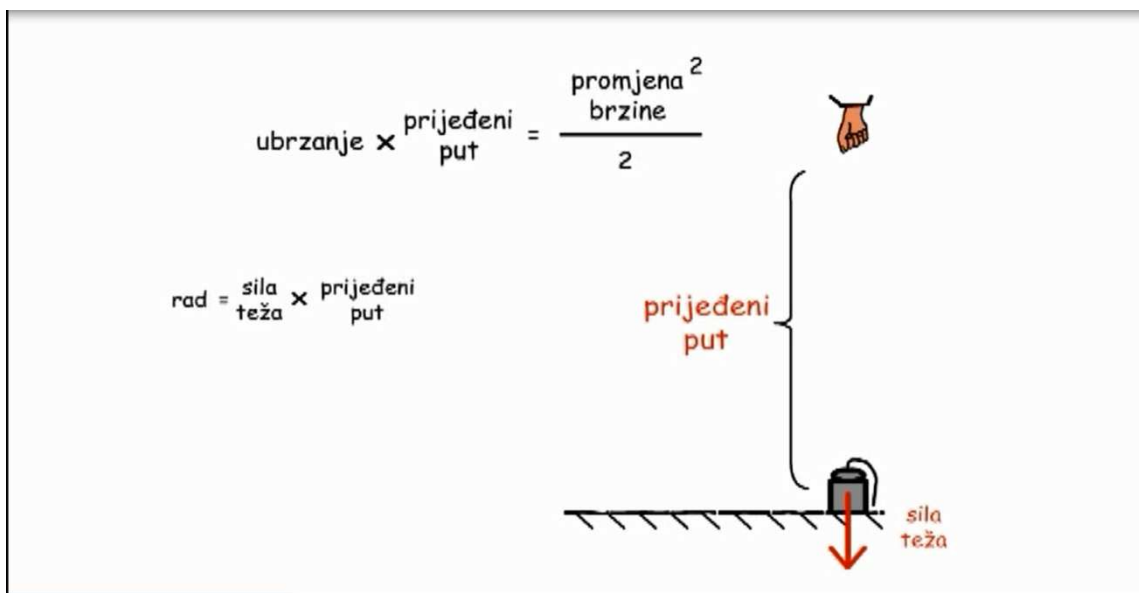
VII. pokus

DVD II

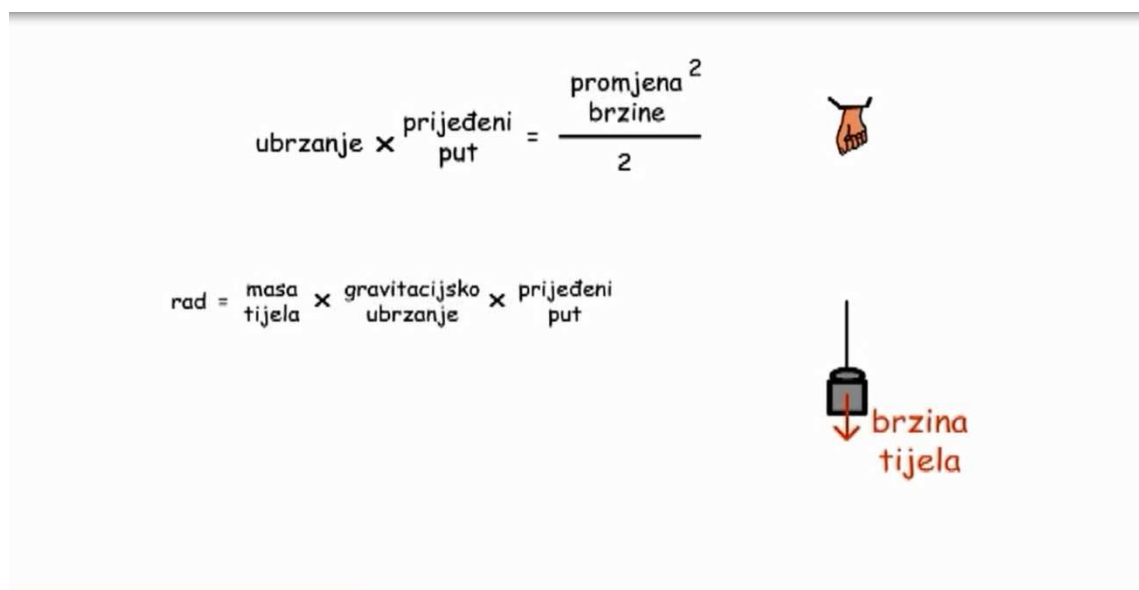
Trajanje pokusa: 7 minuta i 51 sekunda

Na samom početku podsjetili smo se matematičke formule za prijeđeni put tijela u slobodnom padu koju smo izveli kod pokusa u kojem smo određivali gravitacijsko ubrzanje. Prijeđeni put je jednak polovici umnoška gravitacijskog ubrzanja i kvadrata vremena potrebnog tijelu da prijeđe taj put. Budući je slobodni pad jednoliko ubrzano gibanje relaciju kojom je akceleracija definirana kao omjer promjene brzine tijela i vremena u kojem se ta promjena brzine dogodila, odnosno relaciju kojom je vrijeme u kojem se ta promjena brzine dogodila definirana kao omjer promjene brzine i akceleracije smo uvrstili u relaciju za prijeđeni put. Nakon formiranja relacije smo pristupili objašnjavanju važnosti iste. Kada tijelo slobodno pada na njega djeluje sila teža. Ako to tijelo prijeđe neki put rad koji je obavila sila teža jednak je umnošku sile teže i prijeđenog puta.

Znamo da je sila teža definirana umnoškom mase nekog tijela i gravitacijskog ubrzanja. Jasno je da će tijelo nakon što prijeđe put ubrzati do određene brzine.

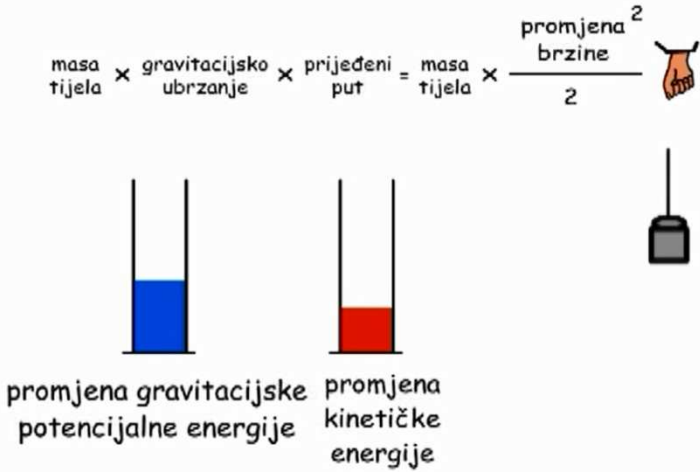


U izvedenu formulu smo uvrstili ranije dobivenu relaciju s obzirom da smo je izveli iz formule za jednoliko ubrzano gibanje tijela. Sa lijeve strane formule imamo obavljeni rad koji je sila teža utrošila na tijelo (umnožak mase tijela, gravitacijskog ubrzanja i prijeđenog puta) a sa desne strane novu relaciju koja opisuje kako se tijelo giba nakon tog obavljenog rada (umnožak mase tijela i polovice kvadrata promjene brzine).



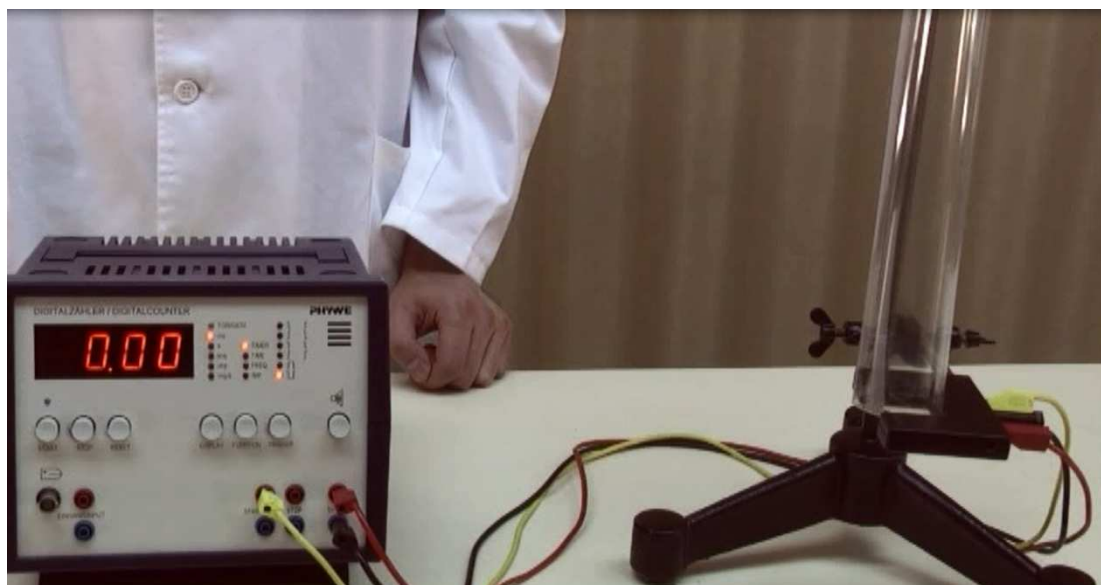
Navedena formula opisuje kako se energija mijenja iz jednog oblika u drugi. Opisana lijeva strana formule predstavlja promjenu gravitacijske potencijalne energije koja je jednaka radu koji obavi sila teža na tom tijelu.

Kako tijelo pada spomenuta energija se mijenja u kinetičku energiju, koja je dana sa desnom stranom formule. Zatim smo pristupili provjeri dobivene relacije pokusom.

$$\text{masa tijela} \times \text{gravitacijsko ubrzanje} \times \text{prijeđeni put} = \text{masa tijela} \times \frac{\text{promjena brzine}^2}{2}$$


promjena gravitacijske potencijalne energije promjena kinetičke energije

Za potrebe pokusa koristili smo stalak na koji je koncem privezana metalna pločica. Zapalivši konac, pločica je slobodno padala u gravitacijskom polju i prešla put od 60 centimetara.





Brzinu pločice izmjerili smo, kao i u prethodnim pokusima, uz pomoć svjetlosnih vrata. Budući se masa metalne pločice nalazi na obje strane jednadžbe, istu smo skratili pa smo promjenu brzine zapisali kao korijen dvostrukog umnoška gravitacijskog ubrzanja i prijeđenog puta. Imamo li na umu da pločica kreće iz mirovanja, promjena brzine je jednaka konačnoj brzini. Nakon ubacivanja vrijednosti u formulu, dobili smo predviđenu brzinu pločice od 3,5 m/s. Pristupili smo mjerenju vremena potrebnog da pločica prođe kroz svjetlosna vrata izvođenjem pokusa. Brzina pločica definirana je omjerom njezine duljine i vremena potrebnog da ona prođe kroz svjetlosna vrata. Ubacivanjem vrijednosti u navedenu formulu ponovno dobivamo brzinu od 3,5 m/s. Dakle, izmjerena (eksperimentalno određena) vrijednost brzine se podudara sa teorijskom i time potvrđujemo da zakon očuvanja energije vrijedi.

$$\begin{aligned}\text{brzina pločice} &= \frac{\text{duljina pločice}}{\text{vrijeme potrebno da prođe kroz svjetlosna vrata}} \\ &= \frac{0,064 \text{ m}}{0,0185 \text{ s}} \\ &= 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\end{aligned}$$

$$\text{brzina pločice} = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

eksperimentalno
određena brzina

$$\sqrt{2 \times 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,6 \text{ m}} = \text{konačna brzina}$$

$$3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{konačna brzina}$$

$$\text{brzina pločice} = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

eksperimentalno
određena brzina

$$\sqrt{2 \times 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,6 \text{ m}} = \text{konačna brzina}$$

teorijski
određena
brzina

$$3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{konačna brzina}$$

Pitanja za učenike

1. Kakva je to gravitacijsko potencijalna energija a što kinetička energija?
2. Koja je razlika između eksperimentalno određene i teorijsko određene brzine?

6.2. Koloture i rad

VIII. pokus

DVD II

Trajanje pokusa: 5 minuta i 48 sekunda

Iza ovog naslova kriju se pokusi kojima ćemo pokazati kako se iskorištavanjem kolotura veća sila svladava manjom budući smo već pokazali kako se uz pomoć kolotura može mijenjati smjer sile. Pokusom smo utvrdili što se događa sa silom ako uteg objesimo na koloturu koja visi na užetu čiji su krajevi pričvršćeni za stalak i vidjeli da uteg povlači stalak silom od 5 N (masa utega je 500 grama što je približno jednako sili od 5 N što smo prethodno izmjerili vagom i utvrdili dinamometrom).

Međutim postoje dva hvatišta sile što znači da je sila ravnomjerno raspoređena na oba hvatišta (2,5 N po hvatištu), što smo pokazali uz pomoć dinamometra.



Dakle, u ovom slučaju nama je potrebna sila od minimalno 2,5 N kako bi podigli uteg jer znamo da ako uteg želimo podignuti na neku visinu moramo na njega djelovati barem tom silom. Znamo da je rad definiran kao umnožak sile i puta na kojem djeluje ta sila pa smo pristupili utvrđivanju koliki je rad potreban da bi uteg podigli za 10 centimetara sa i bez kolotura.



Nakon završetka pokusa i usporedbom dobivenih rezultata, vidjeli smo da su rezultati jednaki odnosno da je rad koji smo trebali obaviti u oba slučaja jednak, što ponovno potvrđuje zakon o očuvanju energije.

Pitanja za učenike

1. *Kako je u izvedenim pokusima potvrđen zakon o očuvanju energije?*

7. FLUIDI

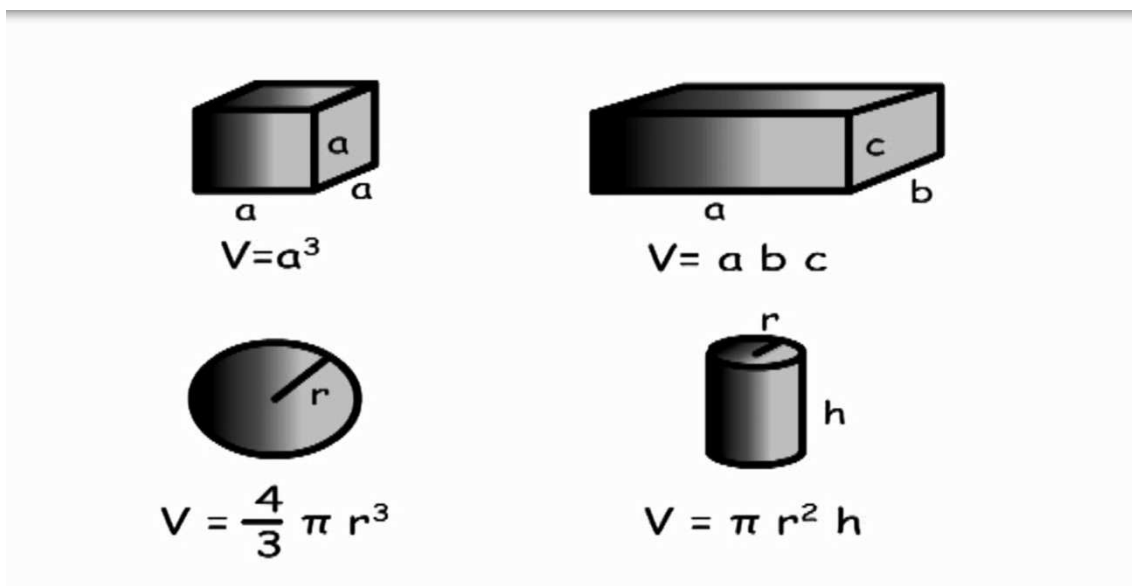
7.1. Uzgon

IX. pokus

DVD II

Trajanje pokusa: 12 minuta i 12 sekundi

Volumen ili zapremnina tijela je prostor koji to tijelo zauzima. Za pravilna tijela, npr. pravokutnik, kocku, valjak, nije problem odrediti volumen jer postoje za to jednostavne matematičke formule.

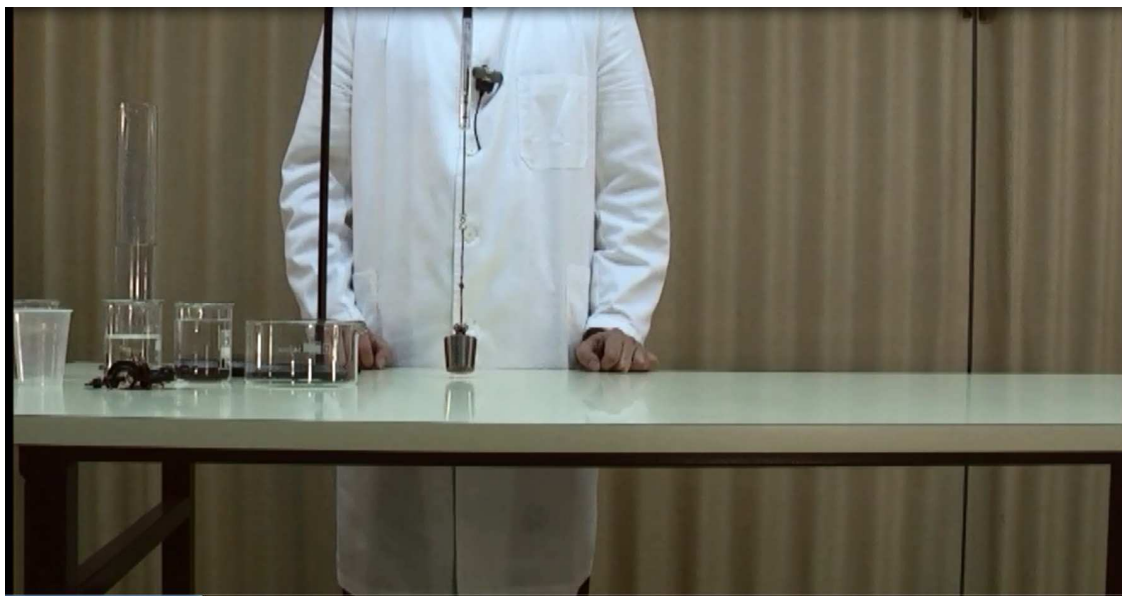


No što kada treba odrediti volumen tijela koje je nepravilna oblika? Odgovor na to pitanje dali smo pokusom. Za potrebe tog pokusa koristili smo se gratuliranom menzutom koju smo napunili sa tri decilitara vode a tijelo nepravilna oblika čiji ćemo volumen odrediti jest držač za stalak.



Uranjanjem držača u menzuru razina vode se podigla za tri crtice. Volumen za koji se razina vode podigla upravo je jednak volumenu uronjenog držača. Budući je jedna crtica na menzuri jedan milimetar što je jedan kubni centimetar pa je volumen uronjenog držača jednak tri kubna centimetra. Na isti način možemo odrediti volumen tijela bilo kojeg oblika.

Zaključak je ako tijelo uronimo u tekućinu, volumen tekućine koji to tijelo istisne jednak je volumenu uronjenog tijela. Slijedećim pokusom pokazali smo koje sve sile djeluju na tijelo nakon što ga uronimo u tekućinu. O dinamometar smo objesili uteg mase 0,5 kilograma (4,9 N) i cijelog smo ga uronili u vodu.



Dinamometar pokazuje manji iznos sile kao da se težina smanjila odnosno dinamometar je pokazivao silu od 4,3 N. S obzirom da je težina definirana kao umnožak mase i gravitacijskog ubrzanja, a u našem se slučaju niti masa niti gravitacijsko ubrzanje nisu mijenjali, zaključili smo da se uranjanjem utega u tekućinu pojavila dodatna sila.

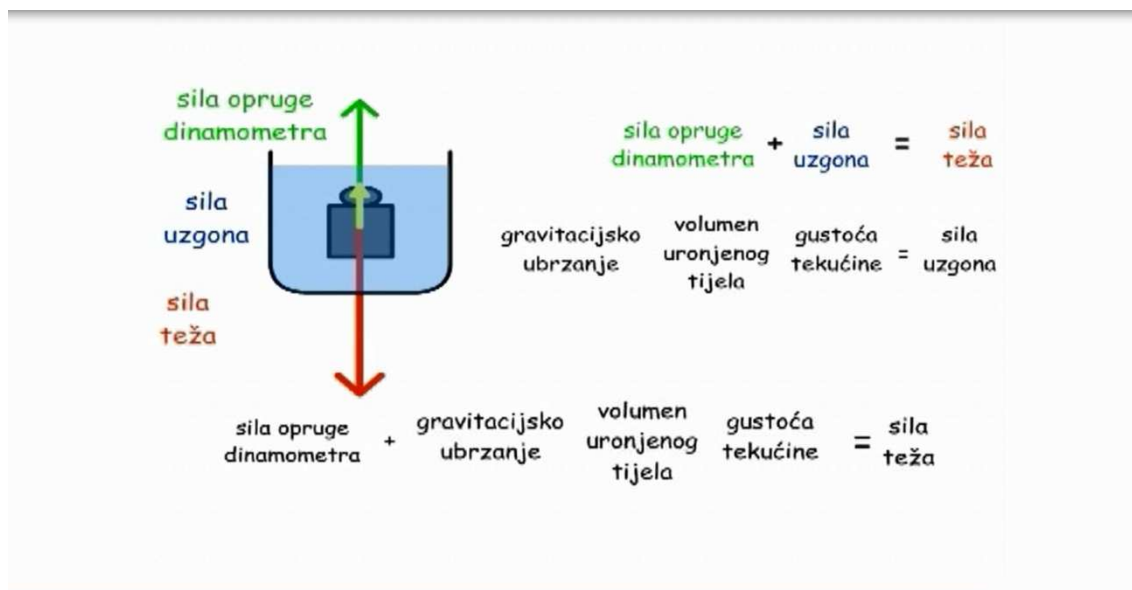
Težina se prividno smanjila pa smo zato zaključili da nova sila djeluje u suprotnom smjeru od sile teže, tj. vertikalno prema gore.

Iznos te sile jednak je razlici stvarne i prividne težine koju očitavamo na dinamometru kad je tijelo uronjeno u vodu. Znači, u našem slučaju iznos te sile jest 0,6 N. Tu silu nazivamo silom uzgona. Uzgon je sila koja počinje djelovati na tijelo tek nakon što ga uronimo u tekućinu. Nakon identificiranja nove sile, pristupili smo eksperimentalnom određivanju o čemu sve ta sila ovisi. Za potrebe tog pokusa koristili smo čašu koju smo do vrha napunili vodom i stavili je u široku posudu a u koju ćemo uranjati uteg. Zatim smo uteg uronili u čašu a svu vodu koja se prelila smo sakupili u širokoj posudi.

Kao što smo već dokazali tako je i ovdje volumen istisnute tekućine jednak volumenu uronjenog tijela odnosno volumenu utega. Istisnutu tekućinu smo prelili u čašu neznatne težine kako bi mogli odrediti njenu težinu. Težinu istisnute tekućine odredili smo vješanjem čaše na dinamometar i vidjeli smo da je težina istisnute vode po iznosu jednaka sili uzgona na uteg koji je istisnuo tu vodu.

Ovdje treba napomenuti da je težina istisnute vode dana umnoškom mase istisnute vode i gravitacijskog ubrzanja a masa istisnute vode je dana umnoškom gustoće istisnute vode i volumena istisnute vode.

Zahvaljujući svemu tome na kraju dobivamo relaciju za silu uzgona na uronjeno tijelo. Ona je dana umnoškom gustoće istisnute tekućine, volumenom uronjenog tijela i gravitacijskog ubrzanja. Iz svega navedenog zaključujemo da kada uteg objesimo na dinamometar na njega djeluju dvije sile; sila teža vertikalno prema dolje i sila opruge dinamometra vertikalno prema gore.



S obzirom da dinamometar miruje, prema prvom Newtonovom zakonu iznosi tih dviju sila jesu jednaki. Međutim ako uteg uronimo u neku tekućinu tada na njega djeluje i sila uzgona. Dakle, prije uranjanja tijela u tekućinu imamo dvije sile; sila teža i sila opruge, a nakon uranjanja tijela u tekućinu javlja se i sila uzgona na uteg koja djeluje vertikalno prema gore. Budući da uteg tada miruje prema prvom Newtonovom zakonu zaključujemo da je sila teža jednaka zbroju sile opruge dinamometra i sile uzgona na uteg, odnosno sila opruge se smanjuje upravo za iznos sile uzgona kao bi njihov zbroj bio jednak iznosu sile teže.

Na kraju smo pristupili eksperimentalnom određivanju gustoće vode. Iz formule za gustoću tekućine kojom je ona dana kao razlika težine tijela i sile dinamometra na uteg kada je on u tekućini podijeljena sa umnoškom gravitacijskog ubrzanja i volumena uronjenog tijela, vidimo da nam za određivanje gustoće neke tekućine treba samo dinamometar i uteg poznatog volumena.



$$\text{gustoća tekućine} = \frac{\text{sila teža} - \text{sila opruge dinamometra}}{\text{gravitacijsko ubrzanje} \cdot \text{volumen uronjenog tijela}}$$



$$\text{gustoća tekućine} = \frac{\text{sila teža} - \text{sila opruge dinamometra}}{\text{gravitacijsko ubrzanje} \cdot \text{volumen uronjenog tijela}}$$

$$\text{gustoća tekućine} = \frac{\text{sila teža} - \text{sila opruge dinamometra}}{\text{gravitacijsko ubrzanje} \cdot \text{volumen uronjenog tijela}}$$

Uvrstivši sve vrijednosti u navedenu formulu dobili smo da je gustoća vode 1000 kg/m^3 što odgovara podatku iz literature.

Pitanja za učenike

1. *Koja je relacija za silu uzgona na uronjeno tijelo?*

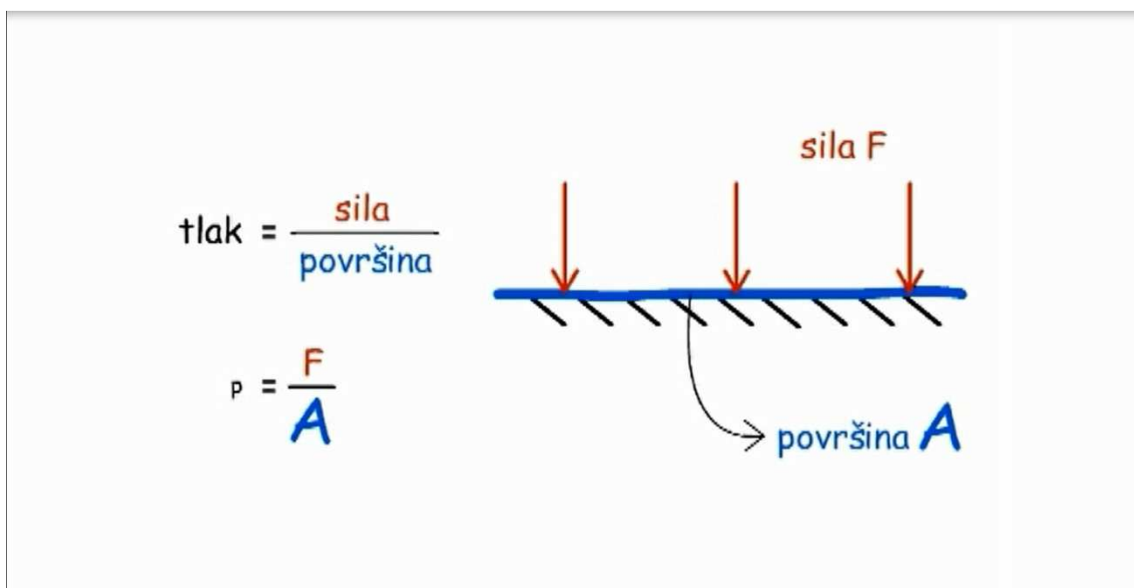
7.2. Hidraulični tijesak

X. pokus

DVD II

Trajanje pokusa: 10 minuta i 24 sekunda

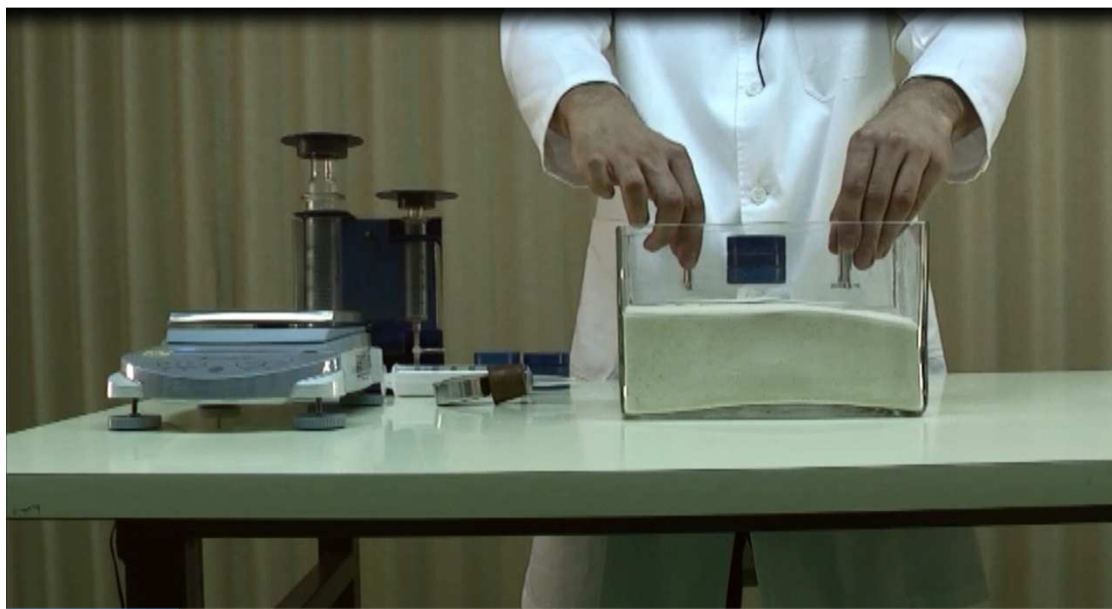
Ovdje ćemo objašnjavati novu fizikalnu veličinu – tlak. Tlak je definiran kao omjer okomite sile F i površine A na koju ta sila djeluje. Što je sila na površinu veća to je tlak na nju veći, a što je površina veća to je tlak na nju manji.



Kako bi pokazali kako tlak djeluje izveli smo jednostavan pokus sa posudom u kojoj se nalazio pijesak i stolićem sa utezima.



Vidjeli smo da ako postavimo stolić sa utezima na pijesak, na nožice, dodirna površina između njih je malena, tlak je tada velik i stolić uranja u pijesak. Ako postavimo stolić većom površinom na pijesak, tlak je tada malen i stolić ne uranja u pijesak.



Postoji i tlak fluida. Fluidi jesu tekućine i plinovi a razlikuju se od čvrstih tvari po tome što molekule od kojih se sastoje nisu fiksirane u prostoru nego se mogu slobodno kretati i sudarati. Upravo to njihovo sudaranje sa čvrstim tijelima čini tlak fluida.

Kao što znamo površina Zemlje je okružena slojem zraka koji zovemo atmosfera pa mi možemo smatrati da kada se nalazimo na površini Zemlje zapravo smo na dnu oceana zraka čije se čestice sudaraju sa svim predmetima na površini Zemlje i vrše tlak na njih.

Slijedeći pokus smo izveli uz pomoć manometra i obične brizgalice.

Manometar je uređaj uz pomoć kojeg možemo mjeriti promjenu tlaka.



Postavljanjem njegove mjerne skale na nulu možemo pomoću njega mjeriti promjene tlaka. Izvlačenjem klipa iz brizgalice kroz rupicu usišemo okolni zrak. S obzirom da zrak može slobodno ulaziti i izlaziti iz brizgalice, tlak na unutarnjim stjenkama brizgalice je jednak tlaku koji djeluje na vanjske stjenke i ostale predmete koji se nalaze u blizini, odnosno unutar brizgalice imamo također atmosferski tlak.

Spajanjem brizgalice na manometar vidimo da se kazaljka na manometru nije pomaknula što je bilo za očekivati obzirom da je unutar brizgalice tlak koji je jednak vanjskom.



Međutim pritiskivanjem klipa vidjeli smo da se kazaljka pomiče. To nam je bio znak da se tlak u brizgalici povećavao. Kazaljka nam zapravo pokazuje da se tlak promijenio a taj vanjski tlak se naziva hidrauličkim tlakom.



Na kraju smo prikazali primjer iskorištavanja svojstva jednakosti tlaka fluida na sve stjenka posude u kojoj se nalazi. Pokus smo izveli uz pomoć uređaja koji, poput poluge, služi za pretvaranje manje sile u veću. Uređaj se sastoji od dva cilindra u kojima se nalaze pomični klipovi različitih ploština. Cilindri su međusobno povezani.

U pokusu smo na klip veće površine stavili dva kompleta utega približno jednakih masa a jedan komplet utega na klip manje površine. Svi kompleti utega jednakih su masa.

Vidjeli smo da uz pomoć utega manje mase smo uspjeli podići utege veće mase, odnosno da smo manjom silom svladali veću silu. Kako je moguće da uz pomoć manjih utega dižemo veće? Iz grafičkog crteža vidimo da je volumen fluida koji istisnemo iz užeg cilindra jednak volumenu koji utisnemo u širi cilindar. Budući su volumeni utisnutog i istisnutog fluida volumeni valjka odnosno cilindra, poslužili smo se matematičkom formulom za izračun njihova volumena (umnožak površine baze i visine) te prikazanom modifikacijom smo dobili relaciju koja nam pokazuje da je umnožak sile i puta na kojem ona djeluje upravo rad koji ta sila obavlja.

Iz te relacije uočavamo da je rad koji obavi druga sila jednak radu koji obavi prva sila odnosno da zakon očuvanja energije vrijedi. No, kao i što vidimo iz formule, da bi zakonitost bila očuvana manjom silom moramo djelovati na dužem putu da bi dobili veću silu na kraćem putu.

Pitanja za učenike

1. Što je to tlak?
2. Što je to manometar?

8. ZAKLJUČAK

Na kraju ovoga diplomskog rada osvrnuti ćemo se još jednom na značaj pokusa u razvijanju poboljšanog izvođenja nastave fizike. Možemo reći da je jedan od ciljeva učenja fizike u školi stjecanje znanja koje se može primijeniti u novim, možda nepoznatim situacijama. Takvo znanje se stječe rješavanjem novih problemskih situacija. Kroz ovaj rad vidimo da je za izvođenje pokusa potrebno poznavanje osnovnih fizikalnih zakonitosti, a tada se uz pomoć kreativnosti i malo svakodnevnog iskustva dolazi do rješenja problema, razvijanja kreativnosti, uočavanja rezultata vlastitih ideja odnosno razvijanja vještina da se na kreativan i zanimljiviji način dolazi do rješenja nekog problema. Za nastavu je vrlo bitno motivirati i zainteresirati učenike za opažanje prirodnih zakona.

Sve oko nas je fizika i upravo stoga treba poduzeti sve što je u našoj moći da se fizika uči sa kvalitetnim i potpunim razumijevanjem. Pokusi su jednostavan alat za postizanje takvog cilja jer oni potiču na razmišljanje, kreativnost i izlazak iz okvira koje postavlja samo puko učenje činjenica. Pritom moramo imati na umu da su učenički pokusi najpoželjniji i najproduktivniji jer ih osoba koja ih izvodi teško zaboravlja budući je napravljen osobnom aktivnošću te se tako najbolje razvija kritičko mišljenje i razmišljanje a da se pritom koriste sva raspoloživa predznanja. Ovdje treba obratiti pažnju na same sadržaje pokusa. Treba, naime, znati izabrati prikladne sadržaje pokusa, one sadržaje koji na najjednostavniji način mogu doprinijeti stjecanju znanja. Pokusi sadržani na ovim video zapisima su primjer rješavanja navedenog potencijalnog problema.

9. LITERATURA

1. Jakopović, Ž., Lopac, V. Fizika 1 strukovne škole četverogodišnji program, Školska knjiga, Zagreb, 2002.
2. Krsnik, R. *Fizika 1*, Školska knjiga, Zagreb, 1994.
3. Krsnik, R. *Suvremene ideje u nastavi fizike*, Školska knjiga, Zagreb, 2008.
4. Martin, S. N., Siry, C. *Using video in science teacher education: An analysis of the utilization of video-based media by teacher educators and researchers*. Second International Handbook of Science Education. Ed. B. J. Fraser, K. G. Tobin, C. J. McRobbie. Springer, 2012. p. 417-434.
5. Paić, M. *Osnove fizike, svezak 1 (Gibanja, sile, valovi)*, II. izdanje sveučilišna naklada, Zagreb, 1987.

10. SAŽETAK

Ovim radom se ukazuje na mogućnost poboljšanja nastave fizike uvođenjem jednostavnih pokusa kojima se olakšava učenje, razumijevanje i zainteresiranost učenika za fiziku.

Sastavni dio ovog diplomskog rada jesu dva DVD-a čiji sadržaj čine video zapisi dvanaest pokusa iz mehanike. Ti materijali mogu pomoći nastavnicima u pripremi nastave fizike, motivirati ih na veću uporabu pokusa u nastavi, a učenicima u razumijevanju pojedinih fizikalnih fenomena.

Kroz ovaj rad vidimo da je za izvođenje pokusa potrebno poznavanje osnovnih fizikalnih zakonitosti, a tada se uz pomoć kreativnosti i malo svakodnevnog iskustva dolazi do rješenja problema, razvijanja kreativnosti, uočavanja rezultata vlastitih ideja odnosno razvijanja vještina da se na kreativan i zanimljiviji način dolazi do rješenja nekog problema. Za nastavu je vrlo bitno motivirati i zainteresirati učenike za opažanje prirodnih zakona.

11. SUMMARY

This study suggests the possibility of improving the teaching of physics by introducing a simple experiment to facilitate learning, understanding and interest of students Physics.

An integral part of this diploma thesis are two DVD's whose content consists of videos of twelve experiments in mechanics. These materials can help teachers to prepare lectures in physics, to motivate them to greater use of experiments in teaching, and help students in the understanding of certain physical phenomena.

Through this work we see that for conducting experiments one must have a knowledge of basic physical principles, and then with the help of creativity and a everyday experience comes to solutions to problems, develop student creativity, observe the results of their own ideas and develop the skills to be a creative, to find an interesting way to come up with solutions of physical problems. For teaching is very important to motivate students to observe the laws of nature.